

**JOÃO ANTONIO PEREIRA FOWLER**

**A INFLUÊNCIA DE PROPRIEDADES DO SOLO NA OCORRÊNCIA  
DO MAL-DO-PÉ *Gaeumannomyces graminis*  
DO TRIGO *Triticum aestivum* L.**

Dissertação apresentada como requisito  
parcial à obtenção do grau de Mestre.  
Curso de Pós-Graduação em Agronomia,  
Área de concentração "Ciência do Solo",  
Setor de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal do Paraná.  
Orientador: Professor Glaucio Roloff

**CURITIBA**

**1994**

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO  
"MESTRADO"**

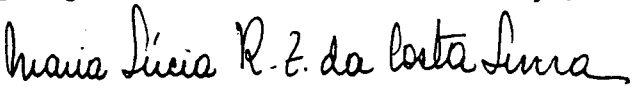
**P A R E C E R**

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JOÃO ANTONIO PEREIRA FOWLER**, com o título: "A influência de propriedades do solo na ocorrência do Mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis*) do trigo (*Triticum aestivum* L.) para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação com o conceito "A " completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 29 de novembro de 1994.

  
Prof. Ph.D. Glaucio Roloff, Presidente.

  
Engo. Agro. Dr. Rivail Salvador Lourenço, Iº Examinador.

  
Prof. Dra. Maria Lucia Rosa Zaksevska da Costa Lima, IIº Examinador

***À memória de minha mãe Leda, dos  
meus avós Parahides e Antonio e ao  
meu pai Damaso.***

***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

- À Universidade Federal do Paraná, em especial ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em ciência do solo pela oportunidade e acolhida.
- Ao Professor Glaucio Roloff pela amizade e orientação.
- Ao amigo e Professor Miguel Antonio Loyola da Rocha pelo apoio e incentivo.
- Ao Pesquisador Rivail Salvador Lourenço pela amizade, incentivo e sugestões.
- Aos Engenheiros Agrônomos Paulo Roberto Valle da Silva Pereira, Pedro Abel Vieira Júnior, Osmar Paulo Beckert pela valiosa colaboração na condução do experimento.
- Aos Assistentes de Pesquisa Eros Neivon Neiverth, Elci Favretto, Osmir J. Lavoranti e ao Programador de Computador Augusto Haruki Nakao pelo apoio nas avaliações dos dados experimentais.
- À Sra. Clarice Foggiatto de Andrade, pelo trabalho de digitação.
- Às Bibliotecárias Carmen C. Stival, Lídia Woronkoff e Rosana Marques pelas informações e fornecimento de material bibliográfico.
- Aos Operários Rurais Edson Vargenski, Jacir Laskoski, Nei Ferreira, Acir Ferreira e Alzirico R. Vaz pelo apoio nos trabalhos na instalação e condução do experimento.
- À minha esposa Rossana e aos meus filhos Paula e João Guilherme pela compreensão com que acompanharam a realização dos trabalhos.
- À todos que colaboraram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

JOÃO ANTONIO PEREIRA FOWLER, filho de Damaso Frederico Bittencourt Fowler e Leda Mirthes Pereira Fowler, nascido a 24 de junho de 1952, em Curitiba, Paraná.

Cursou o primário e o ginásio no Colégio Santa Maria e o científico no Colégio Camões, ambos em Curitiba-PR.

Em 1974 iniciou o Curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal do Paraná, graduando-se Engenheiro Agrônomo em 13 de agosto de 1978.

Atuou como Engenheiro Agrônomo na Secretaria da Agricultura em Campo Mourão-PR como fiscal na área de Sementes, Mudas e Agrotóxicos de agosto a novembro de 1978, na IAP-FERTILIZANTES em Ponta Grossa-PR como supervisor de vendas de dezembro de 1978 a abril de 1979, retornando a Secretaria da Agricultura como Engenheiro Agrônomo do Departamento de Produtividade de maio de 1979 a novembro de 1980, tendo ingressando na Companhia Antártica Paulista como responsável técnico pela produção de sementes no período de dezembro de 1980 a outubro de 1989. Em novembro de 1989 ingressou na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Serviço de Produção de Sementes Básicas, em Ponta Grossa-PR, passando em julho de 1991 a desenvolver atividades junto ao Centro Nacional de Pesquisa de Florestas da EMBRAPA em Colombo-PR.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	
2.1. PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO RADICULAR .....	2
2.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E OS MICRORGANISMOS .....	14
2.3. A FERTILIDADE DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO DA DOENÇA .....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	
3.1. DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DO EXPERIMENTO .....	27
3.2. DADOS METEOROLÓGICOS .....	28
3.3. TRATAMENTOS .....	28
3.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E MÉTODO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA UTILIZADO.....	30
3.5. DADOS FITOTÉCNICOS DO EXPERIMENTO .....	30
3.6. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	31
3.7. COLETA DE DADOS .....	31
3.8. CROQUIS DO EXPERIMENTO .....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1. PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO .....	36
MACRO E MICROPOROSIDADE .....	37
POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO.....	40
4.2. PARÂMETROS DA RAIZ.....	42
DENSIDADE DE MASSA SECA DA RAIZ.....	43
DENSIDADE DE COMPRIMENTO DA RAIZ .....	44
RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO .....	46
4.3. PARÂMETROS FITOTÉCNICOS .....	50
PESO HECTOLÍTRICO DOS GRÃOS .....	51
NÚMERO DE ESPIGAS BRANCAS .....	53
RENDIMENTO .....	56
5. CONCLUSÕES.....	59
6. RECOMENDAÇÕES.....	62
ANEXO I - DADOS METEOROLÓGICOS .....	63
ANEXO II - TABELA DOS VALORES NUMÉRICOS DE CADA PARÂMETRO AVALIADO NO EXPERIMENTO, POR TRATAMENTO.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
1. CROQUIS DO EXPERIMENTO COM A DISTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS .....	35
2. MACROPOROSIDADE MÉDIA DO SOLO .....	37
3. MICROPOROSIDADE MÉDIA DO SOLO .....	39
4. POTENCIAL DE ÁGUA MÉDIO DO SOLO .....	40
5. DENSIDADE DE MASSA SECA DE RAIZ MÉDIA DO SOLO .....	44
6. DENSIDADE DE COMPRIMENTO DE RAIZ MÉDIA DO SOLO.....	45
7. RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO.....	48
8. PESO HECTOLÍTRICO DOS GRÃOS.....	51
9. NÚMERO DE ESPIGAS BRANCAS .....	53
10. RENDIMENTO .....	56

## LISTA DE TABELAS

	Página
1. RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO, MACROPOROSIDADE E MICROPOROSIDADE .....	36
2. RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A DENSIDADE DE MASSA SECA DE RAIZ E DENSIDADE DE COMPRIMENTO DE RAIZ.....	42
3. RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO ENTRE 05 E 30 cm DE PROFUNDIDADE .....	46
4. RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO ENTRE 30 E 60 cm DE PROFUNDIDADE .....	47
5. RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O RENDIMENTO NÚMERO DE ESPIGAS BRANCAS E PESO HECTOLÍTRICO DOS GRÃOS .....	50



## LISTA DE QUADROS

	Página
1. ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DO SOLO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	28
2. DADOS FITOTÉCNICOS DO EXPERIMENTO.....	30

## SUMMARY

Wheat take-all disease has become relatively important in Brasil, especially in the states of Parana and Rio Grande do Sul, where it caused severe losses in the 1987 season. The soil fungus *G. graminis* is the causal agent of the disease. Its occurrence and intensity are related to soil properties.

This study was done to identify the relations existing between disease intensity and changes in soil properties brought about by compaction caused by agricultural machinery, by tillage tools and by liming.

The experiment was installed during the 1990 season in the Campos Gerais region of the State of Parana, in a field which had an intense take-all outbreak the season before. Compaction levels were caused by tractor or combine traffic, tillage was done with a chisel plow or a heavy disk harrow, and liming levels were original situation and liming to raise base saturation to 70%. Parameters evaluated were air-filled porosity, microporosity, soil water potential, root length density, root dry mass density, penetration resistance, grain specific mass, number of white spikes and yield.

More important than the traffic compaction is the proper choice of remediation tillage practices, which may or may not minimize the compaction effects and thus of the disease. Soil chisel to 35 cm deep with liming was the treatments with the least disease intensity and greatest yield.

## RESUMO

O mal-do-pé do trigo assumiu nos últimos anos importância considerável no Brasil, em especial nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, onde provocou perdas severas à cultura do trigo na safra de 1987. Como o agente causal da doença é o *G. graminis*, um fungo do solo, sua ocorrência e intensidade estão relacionadas com as propriedades do solo. Com o objetivo de identificar as relações existentes entre a intensidade de ocorrência desta doença com as alterações das propriedades do solo provocadas pela compactação causada pelo tráfego das máquinas agrícolas, dos sistemas de manejo do solo e da calagem, executou-se este trabalho.

O experimento foi instalado na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná, no ano de 1990, em uma área de ocorrência intensa da doença, na safra anterior, e sobre uma das manchas, foi instalado o experimento. Procedendo-se aos tratamentos de compactação pelo tráfego de trator e de colheitadeira, preparo do solo gradagem pesada e escarificação e calagem. As avaliações foram, macroporosidade, microporosidade, potencial da água no solo, densidade de comprimento e de massa seca da raiz, resistência à penetração do solo, peso hectolítrico dos grãos, número de espigas brancas e o rendimento.

Pode-se concluir que mais importante do que o tráfego sobre o solo, é a escolha adequada das práticas de manejo subsequentes que podem ou não, minimizar os efeitos da compactação e conseqüentemente da doença. O preparo do solo escarificação a 35 cm de profundidade combinado com a calagem foi a interação que apresentou a menor intensidade da doença e o maior rendimento.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as doenças fúngicas que afetam a cultura do trigo, o mal-do-pé, causado pelo *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx. e Olivier var. *tritici* J. WALKER, assumiu importância considerável no Brasil nos últimos anos, especialmente nos Estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, onde provocou perdas bastante significativas à cultura, na safra de 1987. O fungo causador da doença, é um fungo de solo, estando desta forma sua ocorrência e intensidade relacionados com a umidade, a aeração, a temperatura, o pH e a disponibilidade de nutrientes do solo. (REIS, 1990). A doença influencia na produção econômica da cultura através de efeitos na quantidade e na qualidade do produto final. (CUNNINGHAN et. al, 1968).

Por outro lado, o tráfego do equipamento agrícola, as práticas de manejo do solo e a calagem, provocam alterações nas propriedades do solo, modificando a porosidade e afetando por consequência o regime hídrico, as trocas gasosas, a temperatura e a disponibilidade de nutrientes. Estas modificações alteram a comunidade microbiológica do solo e consequentemente interferem na intensidade e frequência de ocorrência da doença.

O presente trabalho tem por objetivo identificar as relações existentes entre a intensidade de ocorrência do mal-do-pé do trigo, com as alterações das propriedades do solo, decorrentes da compactação causada pelo tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas, dos sistemas de preparo do solo e da calagem.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO RADICULAR**

Às operações de manejo do solo que modificam o perfil, melhoram a condutividade de água e permitem o aumento e a proliferação das raízes, propiciam também no aumento do suprimento e na absorção de nutrientes, pela melhora do fluxo de massa, da difusão e do crescimento radicular, (SUMNER e BOSWELL, 1981).

Os efeitos do manejo sobre as propriedades do solo induzem à diferenças da distribuição das raízes. A importância dos macroporos do solo estará relacionado com a drenagem do perfil, sendo que na ausência destes, as raízes ficam limitadas às camadas superficiais, pela concentração de camada da água também superficial ao passo que nos solos melhor drenados, as raízes são mais profundas (GOSS et. al., 1984). O desenvolvimento das raízes seminais foi vagaroso e seus diâmetros pequenos com o plantio direto comparando-se com as do solo arado, mas não se encontrou diferença do número final de raízes seminais, no número de coroas de raiz ou no desenvolvimento, de acordo com as observações de Finney e Knight (1973, citados por PREW, 1981).

Em uma comparação entre plantio direto e o convencional, BALL (1981) demonstrou que os poros do solo com ar, até uma umidade de  $0,18 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , eram mais contínuos e menos tortuosos no plantio direto, mas a difusividade relativa e a permeabilidade ao ar, foram de 6 a 15 vezes inferiores, respectivamente. Apenas em solo franco siltoso houve isotropia no perfil, demonstrando, desta forma, a complexidade do sistema poroso em relação a aeração e a dificuldade em isolar os efeitos das propriedades intrínsecas do solo, daquelas ocasionadas pelo preparo.

Estudos dos efeitos diretos do sistema de preparo do solo sobre as doenças de trigo, indicaram que a compactação do solo seria a causa principal de redução da produção. Esta compactação pode ter sido desfavorável para o crescimento da planta e conseqüentemente ter abaixado a resistência da planta à doença, de acordo com o que constatou NILLSON (1973), em um trabalho de revisão.

ELTZ et al. (1989) em trabalho de revisão, constataram que os sistemas de preparo combinados, plantio direto-plantio direto, escarificação-plantio direto e plantio convencional-plantio convencional não apresentaram diferenças estatisticamente significativas sobre a densidade do solo, a porosidade total e a microporosidade. Em todas as interações a macroporosidade foi menor nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, alcançando o limite crítico de 10% para difusão do ar no solo. Foi observado também, uma maior velocidade inicial de infiltração de água na parcela manejada por escarificação-plantio direto, tendo-se verificado em contrapartida uma menor velocidade de infiltração nos tratamentos plantio convencional-plantio convencional e plantio-direto-plantio-direto.

As trocas no predomínio das doenças relativamente ao manejo conservacionista do solo tem sido a favor daqueles patógenos com meio limitado de dispersão de inóculo primário e/ou secundário e aqueles associados com a sobrevivência nos restos culturais. Como exemplo, uma camada compactada proveniente do sistema de preparo do solo em diversas lavouras de trigo revelou alterações no regime de água do solo, (CUNFER e ROTHROCK, 1991).

A rotação de culturas e a aração profunda dos solos para incorporação dos resíduos são recomendados já a alguns anos, como métodos de manejo das doenças do trigo, entre elas o mal-do-pé. Os métodos de semeadura direta no solo não estão de acordo com as recomendações para o controle da doença. Visando promover uma melhora de base para as recomendações de controle das doenças, estudos holísticos foram feitos, examinando os impactos representativos das sequências das culturas e o manejo do solo no crescimento e na sanidade do trigo. O aumento observado do mal-do-pé durante o segundo e terceiro anos de cultivo contínuo de trigo, confirmam que a incidência alta da doença após cevada e soja, são ocasionadas porque essas culturas mantêm o patógeno que promove a doença. O cultivo mínimo reduziu os resíduos de superfície do solo no trigo e cevada, quando comparado com a situação sem cultivo. A resposta de crescimento e a produtividade do trigo aos tratamentos de sistema de cultivo e rotação de culturas observados, provavelmente sofreram os efeitos dos resíduos das culturas na disponibilidade do nitrogênio, microclima, fitotoxinas da decomposição, entre outros fatores que promoveram ou suprimiram o crescimento, conforme foi constatado pela revisão de SUTTON (1990).

As interações entre as raízes das plantas e os patógenos são

raramente previsíveis, em função da resposta que cada organismo terá à aeração, resistência à penetração e stress de umidade. ALLMARAS et al. (1988), em uma revisão sobre o assunto, indicam que estes três fatores interagem direta ou indiretamente com a compactação. A reduzida condutividade hidráulica na camada compactada, abaixo daquela de aeração, promove uma anoxia e logo abaixo uma subcamada seca. Para evitar danos aos tecidos juvenis as raízes apresentam crescimento vagaroso devido a alta densidade de inóculo na rizosfera. A compactação excessiva do solo afeta a taxa e a distribuição radicular e assim afeta a dinâmica da interação raiz-patógeno, podendo levar a um contato bem sucedido patógeno-hospedeiro. Muitos patógenos de raiz, habitam o solo em estruturas dormentes e quando induzidos pelos exudatos das sementes ou raízes, germinam e produzem a pré-penetração, e logo após a infecção. Os efeitos da rizosfera podem se estender não mais do que 2 mm da superfície da raiz no solo ao redor, e a mobilidade das estruturas fúngicas dormentes pode ser desconsiderada quando comparada com o movimento de crescimento da raiz no solo. A exudação das raízes sadias é maior próxima à ponta e ao longo da zona de alongação desta. O impedimento axial das raízes ou a aeração pobre podem reduzir a taxa de avanço da ponta em mais de 75% e também reduzir as formações laterais da raiz. O resultado é que o patógeno em solos compactados provavelmente intercepta uma raiz lateral jovem e obtém um estímulo nutricional suficiente para infectar. Sob grande potencial matricial, onde a aeração for deficiente, o exudato pode se difundir por grandes distâncias e estimular mais propágulos a germinar, especialmente se o fluxo de água para as raízes estressadas não equivaler ao gradiente de difusão para o exudato.

GERIK et al. (1987) estudando o efeito sobre as propriedades físicas do



solo, nas linhas de tráfego controlado e no crescimento radicular da sequência sorgo-algodão-trigo, nos sistemas de plantio convencional e direto, verificaram que a resistência à penetração das raízes foi maior nas linhas trafegadas, sendo que a compactação do solo ficou confinada a camada de 0-15 cm, onde a quantidade de raízes foi menor.

As operações de cultivo como aração profunda, aração rasa, subsolagem, protegem a reserva de água no perfil do solo, aumentam o controle de ervas daninhas e facilitam o aprofundamento, a densidade e a proliferação do sistema radicular mais do que a gradagem ou a ausência de preparo dos solos. A procura por métodos mais eficientes de cultivo são desejáveis, e também o aumento do conhecimento das condições micro-ambientais requeridas pela cultura para a germinação, desenvolvimento e produção, HADAS et. al., (1978).

Em um experimento de CHAUDHRY et al. (1979), houve aumento da produtividade do trigo em até 54% proporcionado pela subsolagem, aparentemente devido a que esta induziu à produção de um sistema radicular mais profundo, que absorveu o Nitrogênio lixiviado às camadas abaixo do pé-de-arado a 25 cm de profundidade. Os micronutrientes também pareceram contribuir com altas produções após a subsolagem, indicando que Mn e Cu são os elementos envolvidos. O aprofundamento, favorecido pela subsolagem, do sistema radicular das plantas claramente absorveu uma maior quantidade destes microelementos, reduzindo sua deficiência, uma vez que o trigo é bastante sensível às deficiências destes. Outro elemento que aumentou sua concentração nas plantas foi o Zn resultante da maior exploração do solo pelas raízes. As observações acima ratificam a importância da distribuição uniforme das raízes no

perfil do solo, aumentando a nutrição da planta e minimizando o contacto inóculo-raiz e consequentemente a intensidade da doença.

Num trabalho de comparação entre a subsolagem (45 cm de profundidade), a gradagem média e a gradagem pesada, JORGE et al. (1984) observaram que, na camada de 0-15 cm, os valores de condutividade hidráulica (K) decresceram de 0,31 cm/minuto na testemunha sem nenhum manejo, para 0,16 na subsolagem, 0,15 na gradagem média e 0,12 na gradagem pesada. Para a camada do solo de 15-30 cm e 30-45 cm de profundidade a condutividade hidráulica foi menor na subsolagem, do que nos tratamentos de gradagem, ressaltando-se que o solo não manejado apresentou a condutividade hidráulica duas vezes maior em todas as profundidades, quando comparado àqueles manejados. Portanto, pode ser observado que no intervalo de profundidade 0-45 cm a magnitude de variação da condutividade hidráulica (K) com a variação da umidade ( $\theta$ ) foi maior nos solos que receberam tráfego do maquinário agrícola, comportamente este observado também no intervalo de profundidade 45 a 90 cm, demonstrando as alterações causadas pelo manejo do solo sobre seu regime hídrico com prováveis reflexos sobre a comunidade microbiológica.

Em uma revisão sobre o efeito do preparo do solo SILVA FILHO e VITOR (1984) concluíram que a população de microrganismos não é afetada pelos sistemas de manejo, convencional e o plantio direto. Nas parcelas em que a palha não foi queimada, no plantio convencional, houve uma tendência geral dos microrganismos em apresentarem uma população inferior quando comparada com o plantio direto. Onde foi realizada a queima, as populações de fungos e actinomicetos estavam em maior número sob o plantio convencional, quando

comparada com o plantio direto. A população de bactérias foram duas vezes maior no plantio direto, quando comparado com o convencional, quando foi realizada a queima. Outro efeito interessante observado foi que a alternância do sistema convencional com o de plantio direto, incluindo a utilização de adubação verde, aparentemente estimulou a população de fungos e bactérias. Outras variáveis devem ser consideradas, como a fertilidade do solo e o teor de umidade, que quando elevado, causa diminuição na aeração, afetando diretamente microrganismos aeróbicos do solo. Com relação a fertilidade do solo, os microrganismos celulolíticos, como os fungos, foram encontrados em maior proporção nos solos cultivados, devido a maior concentração de fósforo.

Nos trabalhos sobre efeitos dos sistemas de preparo escarificação e convencional sobre as propriedades físicas do solo, FERNANDES et al. (1983) constataram que os mesmos tendem a reduzir os valores da densidade, porém com intensidades diferentes. Por outro lado, a tendência do aumento da densidade do solo, nos primeiros anos de plantio direto deve-se ao arranjo natural que o solo apresenta quando deixa de sofrer manipulação mecânica, porém com o passar dos anos espera-se um decréscimo desta, pelo aumento do teor de matéria orgânica, favorecendo a estrutura do solo.

A densidade verificada no subsolo após anos de cultivo, pode se tornar limitante à raiz. Isto provoca o crescimento lateral das raízes antes de entrarem no subsolo. Os sistemas de manejo que envolveram escarificação, aração ou gradagem em anos anteriores, impediram o crescimento das raízes na superfície ou no interior do perfil, (BUSSCHER et. al., 1986).

As variações naturais das propriedades físicas do solo podem ser

modificadas pelas praticas de manejo. O cultivo tem sido considerado importante para a aeração, ressaltando-se que as operações inadequadas com equipamento pesado resultam em ambiente inadequado ao sistema radicular das plantas cultivadas. A compactação do solo causa a diminuição da proporção de poros de transmissão que são os macroporos e da sua continuidade, podendo restringir o crescimento radicular. A compactação decorrente das rodas dos implementos agrícolas, pode chegar a 30 cm ou mais de profundidade, aumentando a heterogeneidade da porosidade nas áreas trafegadas, quando comparada com as áreas não trafegadas. CANNEL e JACKSON (1981).

O impedimento mecânico em Latossolo Roxo, provocou diferenças consideráveis na infiltração de água no solo. As diferenças de densidade entre o solo cultivado e sob mata, indicaram diferentes níveis de alteração do solo em função do tempo ou da intensidade de uso. CINTRA et al. (1983) constataram que os níveis elevados de resistência a penetração abaixo da camada arável, estavam associados ao preparo do solo muito superficial. Os autores observaram também que a macroporosidade na profundidade de 0-15 cm do solo sob mata foi duas vezes maior do que no solo sob cultivo, sendo que na profundidade 15-30 cm a proporção deste mesmo parâmetro foi cinco vezes maior no solo sob mata do que no solo sob cultivo. A redução da macroporosidade exerce grande influência sobre o desenvolvimento das plantas pela baixa aeração que imprime ao solo, agravando o problema nos períodos de precipitação frequentes pela ocupação do espaço poroso com água.

O crescimento em profundidade após a subsolagem, está frequentemente relacionado com o teor de umidade e modificações físicas do solo.

Camadas compactadas, podem ser decorrentes do tráfego de implementos ou ocorrerem naturalmente, dificultando a infiltração de água e a penetração das raízes. (ECK e UNGER, 1985). BRILL et. al., 1965 constataram uma melhora nas condições físicas do solo pela subsolagem ao avaliarem a densidade, a porosidade e a taxa de infiltração de água no solo. A profundidade de preparo do solo aumentou o rendimento da cultura quando as zonas compactadas produzidas artificialmente estavam logo abaixo da camada arada. Pode haver menor efeito nos solos compactados naturalmente, possivelmente porque as zonas compactadas não são completamente penetradas pelos implementos de preparo.

Os solos compactados restringem o crescimento das raízes mecanicamente, pela limitação do movimento do ar e da água. Testando diferentes níveis de compactação, REEVES et al. (1984) verificaram que o mais severo afetou o crescimento do trigo, produzindo atrofia e clorose e reduzindo também o crescimento da raiz na camada de 0 a 25 cm de profundidade. A resistência vertical medida com o penetrômetro mostrou que houve aumento de 800 KPa, no solo não compactado, para 2.500 KPa na camada compactada.

A compactação associada com trocas no regime de água do solo pode melhorar o ambiente abiótico para os propágulos dos microrganismos na camada arável. O decréscimo na fertilidade do solo induzida pelo decréscimo do pH e a redução dos teores da matéria orgânica podem interagir com a compactação para exacerbar o regime adverso de água do solo. Os resíduos enterrados acima das camadas compactadas também podem afetar a expressão da doença, (ALLMARAS et. al., 1983).

Foi identificado um aumento na densidade do solo na profundidade

de 0-15 cm sob o sistema convencional de cultivo, quando os teores de matéria orgânica, a porosidade total e a macroporosidade diminuíram. Com relação a macroporosidade, MACHADO e BRUM (1978) atribuem sua alteração a diversos fatores interrelacionados, como o cultivo intensivo, ação de máquinas pela pressão exercida sobre o solo e pela destruição da estrutura pela excessiva mobilização e o efeito do impacto das gotas de chuva sobre o solo.

O comportamento e a degradação dos latossolos por manejo inadequado, caracteriza-se pelos acentuados níveis de erosão hídrica e compactação na faixa de 10-30 cm de profundidade, como consequência do uso intenso de mecanização pesada, e de trabalhos de preparo em estado de consistência imprópria do solo. Nos Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro textura média, os níveis críticos de densidade para a penetração das raízes, constatados foram  $1,2 \text{ g/cm}^3$  para o primeiro e  $1,6 \text{ g/cm}^3$  para o segundo<sup>1</sup>. A redução do espaço poroso, provocou alterações sensíveis no regime de infiltração e na disponibilidade de água. A busca constante de novas opções de manejo do solo recomenda o uso de uma série de práticas de preparo do solo, de caráter conservacionista como a escarificação para contornar o problema, FARIAS (1988).

A produtividade das culturas é altamente dependente da distribuição da precipitação, em situações onde a proliferação das raízes é limitada pela compactação. VOORHEES et. al. (1985).

CINTRA e MIELNICZUK (1983) constataram que a uma densidade do solo de  $1,60 \text{ g/cm}^3$ , a macroporosidade foi reduzida a 9%, encontrando-se abaixo

---

<sup>1</sup> IAPAR, 1983 (não publicado).

do nível mínimo de ocorrência de trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. Em valores médios a resistência a penetração de  $11 \text{ kg/cm}^2$  e a macroporosidade de 19%, causaram a redução de 50% do sistema radicular de todas as espécies. Observou-se também, a redução da produção de matéria seca com o aumento da compactação em trigo e cevada, tendo-se observado o melhor rendimento do trigo quando a densidade do solo foi  $1,04 \text{ g/cm}^3$ , possivelmente devido ao melhor suprimento de água e nutrientes causados pelo melhor arranjo dos agregados do solo.

BOONE (1988) constatou que a compactação severa, diminui a taxa de expansão do sistema radicular, aumentando os riscos de lixiviação de nutrientes. Quando a profundidade máxima de enraizamento é diminuída, um menor volume de solo é explorado e menos água e nutrientes são supridos pela ação da capilaridade nas camadas profundas do solo.

A respiração das raízes e dos microrganismos requer que ocorra a troca de gases entre o ar do solo e a atmosfera a uma taxa tal que evite a deficiência de oxigênio e o excesso de dióxido de carbono no solo. O preparo do solo pode alterar marcadamente a aeração, e a magnitude desta alteração depende das propriedades do solo. Um solo adensado pode ter sua aeração melhorada se o implemento de preparo adequado for usado, visando minimizar os efeitos da compactação pelo tráfego do maquinário agrícola que pode criar condições desfavoráveis de aeração. (ERICKSON, 1982). A aeração do meio reflete a mudança em outras propriedades físicas do solo, afetando assim o crescimento das plantas (BUGBEE et al., 1986). A capacidade de retenção de água é a propriedade física mais afetada.

Com relação a aeração do solo e seus efeitos sobre o crescimento da planta, SOJKA (1985) observou que existem vários mecanismos interrelacionados que induzem ao fechamento dos estômatos em resposta à aeração deficiente na rizosfera. Algumas destas implicações, segundo alguns autores, incluem respostas hormonais e alterações na atividade bioquímica. Os dados mostraram um aumento na demanda de potássio em plantas submetidas a baixo suprimento de  $O_2$ .

As mudanças na estrutura do solo causadas pelo tráfego do equipamento agrícola, resultam na compactação do solo com a umidade próxima a capacidade de campo. Medições da superfície compactada, porosidade do solo, resistência a penetração e permeabilidade do ar, mostram que ocorre a diminuição da porosidade total, macroporosidade e da continuidades dos poros (BACKEWELL et al. (1985). A profundidade máxima de mudança na estrutura neste estudo foi ao redor de 35 cm. Os efeitos mais pronunciados do tráfego sobre o solo, em relação às condições para o estabelecimento da planta e o crescimento da raiz, foi sobre a aeração do solo, ou seja, a redução do potencial e do fluxo de oxigênio, que no solo compactado diminuiu ou cessou o crescimento da raiz, na ausência de qualquer outro fator restritivo. O adensamento do solo pode ter diminuído o crescimento da raiz, no solo que foi compactado pelas rodas, sendo portanto o suprimento deficiente de oxigênio e a impedância mecânica que interferiram negativamente no crescimento da raiz. Finalmente a denitrificação pode ser também mais ativa no solo compactado. Não foi observado efeito da compactação sobre a temperatura do solo, contudo observou-se uma tendência de aquecimento nos solos compactados na primavera. A produção de grãos foi 27% maior no solo não compactado.



Os canais formados, pelas raízes das culturas são importantes no aumento da taxa de infiltração de água do solo. MEEK et al. (1992), ao revisar o assunto, indicam que outros fatores contudo podem contribuir para o aumento na taxa de infiltração como o processo de expansão-contração da argila, e a atividade das minhocas, também observaram que as raízes das plantas foram importantes no movimento da água através do solo. Quando as planta estavam crescendo, a taxa de infiltração foi reduzida devido ao bloqueio dos canais por estas, porém quando as raízes apodreceram, os canais ficaram abertos para o movimento da água. Os autores constataram que o aumento na densidade do solo de 1,6 a 1,8 Mg/m<sup>3</sup> diminuiu a taxa de infiltração medida a campo por 120 minutos em 53% e a condutividade hidráulica em 58%.

## **2.2. PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E OS MICRORGANISMOS**

As propriedades físicas, principalmente a temperatura, aeração e a umidade são reguladas pela porosidade, que assim determina as condições ambientais para a comunidade microbiológica do solo.

Trabalhos desenvolvidos com dois isolados de *G. graminis* sugerem que um aumento na pressão parcial do dióxido de carbono, acima de 0,0003 atm (0,03% por volume) reduziu a taxa de crescimento linear de ambas. Desta forma pode-se concluir que o *G. graminis* é mais sensível a pressão parcial do dióxido de carbono, do que são os outros fungos do solo, de acordo com Smith e Kloble (1972, citados por FERRAZ, 1973).

Em solos com umidade próxima à capacidade de campo, reduz-se a infectividade como resultado do aumento da atividade microbiana através do estímulo aos organismos antagônicos. Experimentos de COTTERILL e SIVASITHAMPARAM (1987) demonstraram que o solo submetido a menor nível de umedecimento teve o número de propágulos maior do que todos os outros, sugerindo uma menor depressão do *G. graminis*. O solo submetido ao regime simulado de precipitação, teve um menor número de propágulos quando comparado com outros dois regimes de umedecimento. Nos solos submetidos a altas temperaturas e a variados níveis de umidade, a sobrevivência do *G. graminis* foi reduzida substancialmente. Na ausência de umidade contudo o fungo (*G. graminis*) não é exposto a atividade microbiana antagônica e portanto parece ser mínima aí sua depressão.

Na colonização das raízes do trigo pelas bactérias supressivas ao *G. graminis* verificou-se que a água percolada aumenta o movimento da bactéria no perfil do solo, embora raças de *Enterobacter cloacae* e *Pseudomonas fluorescens* tenham colonizado raízes na ausência de água fluida. A explicação mais provável é que as bactérias são de algum modo transportadas para baixo passivamente com o avanço da raiz através do solo. O fungo depende de um alto potencial matricial e como o potencial de água diminui abaixo de -10 e -20 kPa, a taxa de crescimento também diminui. Assim, se o solo é demasiado seco para a colonização pela bactéria supressiva, também será demasiado seco para o crescimento do *G. graminis* var. *tritici*. (Griffin, 1972, citado por HOWIE et. al., 1987).

A presença de resíduos das culturas na superfície do solo representam

um conjunto de variáveis que afetam a temperatura do solo. Uma revisão deste assunto por JAMES e SUTTON (1990), indica que estes resíduos podem alterar o coeficiente de reflexão da superfície com consequentes efeitos no rendimento e nos fluxos de energia despendidos do solo. Adicionalmente, a mudança na densidade do solo, porosidade, conteúdo de água, e práticas de cultivo, podem afetar a transmissão do calor absorvido dentro e fora do solo. Prolongados períodos com temperaturas baixas do solo combinadas com a temperatura máxima ambiente bastante reduzida no sistema sem preparo do solo, comparada com o convencional, causam efeitos sobre patógenos do solo, como *G. graminis*, var. *tritici*.

O aumento do stress hídrico, pode causar a redução da atividade microbiana, conforme constataram RATTRAY et al. (1992). A diminuição do stress de potencial matricial pode ser seguida de um aumento na taxa de respiração das populações microbianas do solo, sugerindo que, para a manutenção da atividade microbiológica a concentração do substrato deve ser mantida alta. A saturação de água pode reduzir o suprimento de oxigênio para as raízes e organismos do solo, em dois ou três dias num solo em pousio e mais rapidamente quando as plantas estiverem presentes. Assim para um mesmo clima, os solos argilosos são frequentemente mais propensos a se tornarem deficientes em oxigênio do que os arenosos.

Fatores abióticos de stress como temperaturas extremas, desbalanceamento nutricional, impedância mecânica alta, excesso de umidade do solo, e anaerobiose podem predispor a planta ao ataque de fungo do mal-do-pé, pelo aumento da exudação da raiz. BUERKERT e MARSCHNER (1992),

revisando estes efeitos, sugerem que baixas concentrações de  $O_2$  e altas concentrações de  $CO_2$  na rizosfera são provavelmente as causas para aumento da exudação sob condições anaerobióticas.

Embora a resistência seja provavelmente o principal fator que influencia o crescimento da raiz em solo compactado, a aeração deficiente também provoca algum efeito. O crescimento das raízes geralmente parece ser irrestrito pela aeração quando a concentração de oxigênio na atmosfera do solo é maior do que  $0,1 \text{ m.m}^{-3}$ . Concentrações abaixo deste valor foram observadas por SHIERLAW e ALSTON (1984) em um solo, quando a densidade do solo era maior do que  $1.550 \text{ kg/m}^{-3}$ . Além disso a porosidade de aeração do solo nesta densidade variou de  $0,05$  a  $0,14 \text{ m.m}^{-3}$  além dos potenciais de água encontrados. Os valores sugeridos como necessários para promover uma suficientemente rápida difusão de oxigênio no solo são de  $0,12$  a  $0,15 \text{ m.m}^{-3}$ . Outra constatação feita pelos mesmos autores está relacionada com o efeito da densidade do solo sobre a habilidade em absorver nutrientes pelas plantas, que ocorreu entre os valores de  $1.350 - 1.450 \text{ kg.m}^{-3}$ . As alterações fisiológicas nas plantas causadas pelo stress mecânico e condições anaeróbicas nos solos compactados excessivamente podem ser explicadas em termos do movimento do íon no solo, uma vez que a taxa de absorção do fósforo é determinada pela concentração dos íons em solução na superfície da raiz. O poder tampão do solo por unidade de volume varia linearmente com a densidade do solo, e a difusividade do fosfato aumentará para densidades do solo intermediárias como resultado do aumento do conteúdo de água volumétrica.

A deposição das microfibrilas de celulose paralelas ao eixo sob a

influencia da resistência mecânica sentida pela raiz pode ser considerada como a causa principal de inibição do crescimento da raiz (VEEN, 1982). O mesmo autor, em sua revisão observa que quando as plantas estão expostas a stress físico (impedância mecânica) elas começam a produzir etileno. Isto foi estabelecido para o crescimento do caule bem como das raízes. Portanto, parece justificável que as raízes que estão sob a influência de impedância mecânica durante o crescimento tornem-se curtas e engrossadas, porque sob a influência do etileno as microfibrilas de celulose no parênquima da parede celular são depositadas axialmente. A influencia direta da impedância mecânica menor do que 100 kPa na extensão do crescimento das raízes parecem improváveis.

Em trabalho de revisão BLACKWELL e WELLS (1983), constaram que taxas constantes de alongação da raiz foram observadas em solo drenado onde a resistência à penetração era baixa. As raízes seminais das plantas localizadas em solos saturados tinham comprimento menor do que 5 cm. As raízes medidas onde o fluxo de oxigênio era relativamente normal estavam com 10 cm de comprimento. O crescimento em extensão da raiz, cessou somente quando o suprimento de oxigênio exauriu-se e o crescimento com o solo saturado, pareceu ser mais radial do que axial.

O sombreamento de plântulas de trigo também pode apresentar dois efeitos relevantes em doenças da raiz. Primeiro, a taxa de produção da raiz pode diminuir, reduzindo a capacidade da planta de compensar a infecção das raízes existentes, pela produção de outras.

Segundo, a extensão de morte do córtex pode ser reduzida e este efeito poderia afetar diretamente o patógeno através da atividade dos

competidores entre os quais os agentes de controle biológico (LEWIS e DEACON, 1982). Assim sendo, o sombreamento pode atrasar o ataque e a morte do córtex da raiz e com isso o crescimento do *G. graminis*. A compactação do solo, combinada com baixa umidade, aparentemente não é propícia para a atividade dos microrganismos. Por outro lado nos solos com baixa densidade de 1.150 a 1.300 kg/cm<sup>3</sup>, a sobrevivência deste microrganismo também foi pobre, especialmente em condições de alta umidade. Portanto, parece que muitos fatores influenciam a sobrevivência dos microrganismos no solo, como a densidade do solo e o teor de umidade altos, implicando em reduzidos níveis de O<sub>2</sub> basicamente, GANGOPADHYAY et al. (1982).

A grande quantidade de poros na superfície dos solos quando eles ocorrem pode ser explicada pela abundante fauna presente, pois muitos dos macroporos são devido as minhocas e larvas. TORRENTÓ e SOLÉ-BENET (1992) argumentam que a atividade biológica do solo esta relacionada com a quantidade de matéria orgânica, bem como com a quantidade de raízes. Nos solos cultivados observou-se um índice baixo de porosidade, devido principalmente ao efeito mecânico destrutivo que o preparo causa ao sistema poroso, bem como a redução da matéria orgânica e do conteúdo de raízes, e por consequência na atividade biológica do solo.

A perda da matéria orgânica associada com o cultivo intensivo, ocasiona o enfraquecimento mecânico da estrutura do solo. Nos solos com baixos teores de matéria orgânica, o desenvolvimento radicular pode ser significativamente impedido pela estrutura mais compactada que se desenvolveu (GREENLAND, 1981). Este problema pode estar associado com o uso de

equipamentos pesados para colheita, nos anos em que os solos estão frequentemente úmidos e facilmente danificáveis. O empobrecimento das condições estruturais pode estar causando o declínio da produção através da influência direta no crescimento da raiz. Bem como estar contribuindo para o declínio porque influencia nas condições de drenagem deficiente e por isso na nutrição e na maior suscetibilidade à doenças.

A compressão do solo ao redor das raízes também apresenta efeito significativo para a atividade e crescimento dos organismos da rizosfera. Boa estrutura do solo na rizosfera, colabora com a aeração, e o fluxo de água, possibilitando assim um eficiente aproveitamento pela planta dos nutrientes e da água. Além disso, devido a quantidade de tecido da raiz disponível para infecção por organismos patogênicos ou benéficos, ser restrita pelo espaço dos poros adjacentes à superfície do coleóptilo, a boa estrutura do solo nesta zona, pode aumentar a taxa de infecção. (LIDDELL, 1992).

### **2.3. A FERTILIDADE DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO DA DOENÇA**

O efeito drástico do mal-do-pé é maior em solos que apresentam nutrição desequilibrada ou deficiente. Os nutrientes com potencial para reduzir a doença, resultaram em maior desenvolvimento de raízes, sugerindo que o efeito da nutrição está sobre o vigor do hospedeiro, não apresentando portanto ação fungicida sobre o patógeno. O pH do solo exerce papel destacado na ocorrência e severidade da doença, o crescimento do micélio em solos ácidos é menor do que

nos de reação alcanina ou próximo a esta, tendo o fungo apresentado seu máximo crescimento entre pH 6 e 7, REIS (1990).

Os distúrbios fisiológicos decorrentes da infecção pelo *G. graminis*, são atribuídos primariamente à interferência na absorção de água pelas raízes. (Hornby, 1969 citado por ASHER, 1972). Estes autores constataram que o peso total de raízes produzidas foi reduzido pela infecção de *G. graminis*. Quando expressado em porcentagem de peso total de matéria seca da planta, contudo, as plantas infectadas tinham proporcionalmente mais matéria seca no sistema radicular do que as plantas sadias. Os resultados mostram que todos os componentes de crescimento dos perfilhos examinados, como matéria seca, área foliar e número deles, foram adversamente afetados. Sob condições de campo, contudo, onde o inóculo é dispersado de maneira descontínua observou-se que as novas raízes provavelmente sadias, sem fazer contato com as unidades infectivas, proporcionaram à planta condições de se recuperar bem do ataque inicial.

O aumento do dano pelo *G. graminis* var. *tritici* após a aplicação do calcário é devido não somente ao aumento do pH mas também ao aumento da disponibilidade de cálcio, conforme revisão de COVENTRY e KOLLMORGEN (1987). A disponibilidade de vários outros nutrientes pode também estar associada a incidência e severidade do mal-do-pé, usualmente agravada se a planta esta com deficiência nutricional. Foi constatado que a aplicação de calcário melhorou a penetração da raiz e a translocação do fósforo, do nitrogênio e do magnésio. As praticas de rotação, que reduzem a estruturação do inóculo do fungo do mal-do-pé no solo, também devem ser usadas. Existe evidencia de que a



rotação com tremoço, e o método do plantio direto da cultura são efetivos na redução da incidência do mal-do-pé. As rotações de cultura envolvendo trigo e aveia cultivado continuamente podem ter uma produção final baixa em comparação com a do solo sob rotação, sem cereal ou com cevada, como exemplificado na revisão de STURZ e BERNIER (1989). Precipitação alta, pH acima de 6,0 e drenagem pobre do solo proporcionaram condições ótimas para a infecção e expansão do *G. graminis* var. *tritici*. O restabelecimento do *G. graminis* var. *tritici* e a severidade do mal-do-pé foi significativamente alta após três anos contínuos de cultivo de trigo comparado com outras rotações de cultura. Observou-se que as culturas contínuas de trigo, sem aração do solo, proporcionaram aumento da infecção do *G. graminis* var. *tritici* nas coroas e raízes, quando comparados com rotações sem cereais. Como contraste, rotações de trigo incorporando colza e linho, tiveram como resultado uma grande sobrevivência das plantas, apresentando melhor altura, grande número de espigas formadas por metro de linha, alta produção de grãos e baixos níveis de doença na raiz. A rotação de culturas controla os fitopatógenos por privar-lhes o substrato necessário à sobrevivência ou à multiplicação. Uma vez ausentes dos tecidos dos hospedeiros, os patógenos acabam sendo eliminados pela competição com microrganismos saprofíticos melhor adaptados a vida no solo (REIS et al., 1983).

WILKINSON et al. (1985), ao revisar os efeitos dos restos de cultura, concluíram que as partículas grandes de restos de cultura não foram mais eficientes em produzir infecção do que o mesmo peso de partículas pequenas. Provavelmente após o primeiro ano com trigo, o inóculo contido nos restos de cultura não decompostos (coroas), é inativo. Práticas de cultivo ou condições

ambientais levam a fadiga dos restos de cultura, e por isso deveriam acelerar a redução do inóculo de *G. graminis* var. *tritici* no solo. O mal-do-pé é menos severo com aração convencional do que sem preparo, porque a aração reduz a quantidade de inóculo disponível nos primeiros centímetros do perfil do solo que irão infectar as coroas das plantas da próxima cultura. O mesmo autor observou que as raízes são menos efetivas do que as coroas como fonte de inóculo do fungo no solo, porque as raízes sustentam uma grande variedade de microrganismos potencialmente supressores do *G. graminis* var. *tritici*. Assim, o uso de praticas de cultivo ajudam a restringir a ação do fungo na infecção de raiz, ou seja, reduzem ou eliminam o potencial de inóculo. Uma fonte de inóculo foi mais eficiente em causar a lesão quando estava em um solo mais fértil comparado com um solo menos fértil. É portanto uma constatação de que a infecção do trigo pelo *G. graminis* var. *tritici* é influenciada pela disponibilidade total de nutrientes dos resíduos, bem como do solo fora dos resíduos.

Nos trabalhos com resíduos de cultura na superfície do solo, DORAN (1980) constatou que as populações denitrificadoras foram aumentadas mais de 44 vezes após a aplicação destes, aparentemente em função do aumento da disponibilidade de água, carbono e fontes de energia. Aumentos no número de fungos e actinomicetos, ainda que influenciados de alguma maneira pela água do solo, o foram mais diretamente pelos resíduos da cultura como fonte de nutriente e energia. A resposta dos fungos do solo à aplicação de resíduos foi aumentada pela vantagem competitiva sobre as bactérias e actinomicetos em presença de pH e conteúdo de água baixos. Estas relações podem ser importantes onde os fungos são agentes de doenças de plantas ou produzem toxinas. A resposta dos microrganismos à cobertura vegetal morta do solo foi significativamente

influenciada pela distribuição dos resíduos e pelo sistema de preparo. As populações microbianas se alteraram mais na área entre as fileiras de plantas, onde a conservação da água, acúmulo e mineralização dos resíduos e o pH do solo eram altos. A presença de resíduos altera os ambientes físicos, químicos e biológicos, e influencia grandemente as trocas associadas com práticas como calagem e a aplicação de herbicidas.

As propriedades químicas e biológicas do solo podem ser fortemente alteradas pelo cultivo contínuo de trigo e pelas rotações. Um exemplo disto é o que constatou COLLINS et al. (1992) em seu trabalho, onde o cultivo e a adubação nitrogenada reduziram o pH de 7,4 no solo sob a pastagem para 5,4 naquele sob cultivo contínuo de trigo em rotação. As taxas de  $\text{CO}_2$  não variaram significativamente nas rotações trigo-ervilha e trigo-trigo. A rotação de culturas e o manejo dos resíduos influenciaram significativamente o tamanho da biomassa microbiana do carbono e do nitrogênio. Nas contagens cumulativas do total das bactérias *Pseudomonas*, e fungos, observou-se o aumento em média de 54 vezes, num período de quatro meses, tendo declinado drasticamente no inverno, enquanto que os actinomicetos permaneceram relativamente estáveis no mesmo período. Já FREDRICKSON e ELLIOTT (1985), indicam que algumas *pseudomonas* colonizadoras de raiz são capazes de inibir o crescimento das raízes das plântulas de trigo, em meios artificiais. A intensidade de inibição depende do nível de inóculo. A produção de toxina pela bactéria pareceu necessária para a inibição do crescimento da raiz, dependente das condições ambientais e da extensão da colonização das raízes por outros organismos.

ELLIOTT e LINCH (1985), trabalhando com as bactérias *pseudomonas*,

inibidoras de fungos, constataram que podem também aparecer nas raízes das plantas semeadas nos solos, em que os resíduos da cultura foram queimados. As populações de pseudomonas e as pseudomonas inibidoras parecem não crescer na superfície da raiz, exceto no final do inverno ou no início da primavera, demonstrando que estes organismos necessitam de condições frias de solo, tendo-se averiguado que alguns organismos inibidores crescem muito bem a 5°C. Aparentemente as pseudomonas estão localizadas primariamente na superfície das raízes e não dentro. As plantas inoculadas com pseudomonas mostraram alguma deformação de raiz, fato este que foi raramente observado em outros trabalhos. As raízes inoculadas aparentemente são iguais as não infectadas, não se notando lesões ou descolorações.

A principal limitação de crescimento de organismos heterotróficos no solo, é a disponibilidade de energia e a presença de substâncias tóxicas (LINCH, 1984). O carbono é a principal fonte de energia para a biomassa, proveniente das raízes (vivas ou mortas) e das folhas caídas e restos de cultura. O manejo provavelmente altera a distribuição da biomassa no perfil. Quanto aos efeitos adversos dos resíduos de plantas no solo, verificou-se que a fração de celulose da palha, que fornece o substrato para as bactérias fermentativas em condições de solo úmido, produzem concentrações de ácido acético e outros ácidos orgânicos que são fitotóxicos. Pode ser argumentado que, ao revolver-se o solo com o arado, promove-se a aeração, formando substratos inacessíveis ao metabolismo microbiano causando assim a degradação da matéria orgânica, incluindo os agentes agregadores e portanto resultando no declínio da estrutura do solo.

A palha de trigo anaerobicamente decomposta, causou marcada

inibição de crescimento da raiz, provavelmente como consequência da concentração tóxica do ácido acético presente (CHAPMAN e LINCH, 1983). Neste caso, os microrganismos identificados não tiveram efeito significativo sobre o crescimento da raiz.

Existem evidências de que o manganês pode agir reduzindo a severidade do mal-do-pé do trigo, (GRAHAM e ROVIRA, 1984). A dissolução dos óxidos e hidróxidos insolúveis de  $Mn^{+3}$  e  $Mn^{+4}$  para  $Mn^{+2}$  nos solos são promovidas pelo  $H^+$  (baixo pH), ou pela redução na tensão de  $O_2$ . As transformações são favorecidas pelo nitrato de amônio, superfosfato e matéria orgânica, os quais também diminuem o mal-do-pé. Embora as transformações do manganês no solo sejam complexas, envolvendo oxidações e reduções químicas e biológicas, o fator dominante é o pH, sendo que este também afeta a severidade do mal-do-pé. Além disso, a absorção de manganês é baixa em solos úmidos e frios, condições estas que favorecem a infecção pelo mal-do-pé. Inicialmente  $Mn^{+2}$  pode ter efeito fungitóxico aos inóculos livres do fungo no solo. Em segundo lugar o manganês pode estar agindo através da fisiologia da planta como sugerido pelas observações da menor ocorrência do mal-do-pé, nas plantas pulverizadas com manganês a campo. A nutrição com manganês afeta a fotossíntese que, por seu turno, controla a taxa de exudação dos solutos orgânicos da raiz. Estes exudatos afetam a microflora da rizosfera e através desta o crescimento ectotrófico do fungo do mal-do-pé. Uma terceira forma de ação do manganês estaria associado com a produção de lignina pela planta, que é controlada pelo sistema enzimático ativado por este elemento. Desde que os materiais lignínicos constituintes dos tecidos da planta, são reconhecidos como uma forma de resistência contra o mal-do-pé, na forma de lignotubos, estas estruturas podem estar mais pobremente desenvolvidas em plantas deficientes de manganês.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado na Fazenda Modelo do Serviço de Produção de Sementes Básicas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA, no município de Ponta Grossa, estado do Paraná; situada a latitude de 25°13'S e a uma longitude de 50°01'W a 880 m de altitude. O clima da região é do tipo Cfb, de acordo com a classificação de Koeppen (GODOY et al. 1976). O solo é um Latossolo Vermelho-Escuro-LE, textura média, apresentando perfis profundos (2 a 3 m), em relevo de suave ondulado a ondulado\*. No ano anterior à instalação, foi marcada uma mancha onde ocorreu o mal-do-pé com perda total da cultura do trigo e sobre ela foi instalado o experimento.

Os resultados das análises química e granulométrica, do local do experimento, antes da implantação, são apresentados no Quadro 1.

---

\* EMBRAPA, 1993 (não publicado).

Quadro 1 - Análise química e granulométrica\* do solo antes da implantação do experimento.

PROFUNDIDADE (cm)	pH (em $\text{CaCl}_2$ 0,01 M)	Meq/100 $\text{cm}^3$ de solo						ppm	%		%	
		$\text{Al}^{+3}$	$\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$	$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{K}^+$	P	Matéria Orgânica	Areia	Silte	Argila
0-10	5,3	0,0	2,3	5,6	2,8	2,8	0,45	28	2,0	68	6	26
10-20	5,4	0,0	2,3	4,0	2,8	1,2	0,40	20	2,2	68	4	28
20-30	4,5	0,0	3,8	1,8	1,2	0,6	0,29	4	2,2	68	4	28

\* Método utilizado: Vettori (EMBRAPA, 1979).

Amostragem: valores médios obtidos por profundidade, sendo três amostras compostas de cinco sub-amostras cada.

### 3.2. DADOS METEOROLÓGICOS

Os resumos meteorológicos foram fornecidos pela Estação Agrometeorológica de Ponta Grossa-PR, do Instituto Agronômico do Paraná-IAPAR, a 2 km do experimento, e são apresentados nos Gráficos I e II do Anexo I.

### 3.3. TRATAMENTOS

O experimento consistiu em tratamentos resultantes da combinação dos parâmetros:

a) Compactação anterior:

1. Situação inicial do solo, sem tráfego;

2. Solo compactado pelo tráfego de trator, modelo CBT 2105, após 19 mm de precipitação 24 horas antes, em 21 de junho de 1990.
3. Solo compactado pelo tráfego da colheitadeira, modelo SLC 6.200, carregada com milho recém colhido, após uma precipitação de 19 mm, 48 horas antes, em 22 de junho de 1990. Os tratamentos de compactação do solo foram executados logo após a precipitação visando maximizá-los.

b) Preparo do solo após a compactação:

1. Escarificação a 35 cm de profundidade, seguida de uma gradagem niveladora, em 03 de julho de 1990;
2. Gradagem off-set a 20 cm de profundidade, seguida de gradagem niveladora, em 03 de julho de 1990.

c) Níveis de calagem.

1. Situação existente, por ocasião da instalação do experimento, onde a saturação de bases (V) média do perfil era 59%.
2. Após a aplicação de calcário equivalente a 726 kg/ha procurando-se elevar a saturação de bases para 70%.



### 3.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E MÉTODO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA UTILIZADO

O delineamento utilizado para a instalação do experimento, foi em fatorial 3 (níveis de compactação) x 2 (sistemas de preparo do solo) x 2 (níveis de saturação de bases) com parcelas subdivididas em três repetições.

O método de análise estatística utilizado foi o teste de contrastes entre médias de tratamentos, porque que os testes de comparação múltipla (teste de Duncan, Tukey, etc) ignoram a estrutura existente entre os tratamentos e a grande quantidade de sobreposições de letras tendem a complicar a interpretação dos resultados (OLIVEIRA, 1994).

Assim sendo, como a metodologia de contrastes é aplicável, também no desdobramento de efeitos e interações de experimentos fatoriais, optamos por utiliza-la neste trabalho.

### 3.5. DADOS FITOTÉCNICOS DO EXPERIMENTO

São apresentados no quadro abaixo os dados fitotécnicos do experimento.

Quadro 2. Dados Fitotécnicos do Experimento.

ÁREA DA PARCELA		SEMEADURA		ADUBAÇÃO		CULTIVAR
Útil (m <sup>2</sup> )	Total (m <sup>2</sup> )	Espaçamento (cm)	Plantas/m <sup>2</sup>	Base** (kg/ha)	Cobertura* (kg/ha)	
5,25	18,75	16	385	250	157	BR-23

\* Nitrogênio (Uréia)

\*\* NPK 4:20:20

### 3.6. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Após a demarcação das parcelas, sobre as manchas de ocorrência do mal-do-pé, em uma área com 50% a 60% de incidência da doença no inverno de 1989, e procedeu-se aos tratamentos de compactação do solo, pelo tráfego de trator e da colheitadeira, seguido dos tratamentos de preparo inicial do solo, escarificação a 35 cm de profundidade e gradagem off-set a 20 cm de profundidade, tendo-se então efetuada a calagem seguida do preparo com gradagem niveladora. A semeadura foi realizada em 09 de julho de 1990, com uma semeadeira TD-300, acoplada a um Trator Valmet 980/4x4.

A adubação de cobertura foi efetuada na fase de perfilhamento do trigo.

Na fase de emborrachamento do trigo, foram aplicados o fungicida propiconazole na dosagem de 0,5 l/ha, e o inseticida monocrotophos na dosagem de 1,0 l/ha, para o controle preventivo da septoriose (*Leptosphaeria nodorum*), do oídio (*Erysiphe graminis*) e da lagarta-do-trigo (*Pseudaletia* sp.), respectivamente.

Ao final do ciclo da cultura, o trigo foi colhido em 23 de novembro de 1990, por parcela mecanicamente com a colheitadeira de experimentos.

### 3.7. COLETA DE DADOS

Os parâmetros descritos a seguir foram utilizados para a avaliação do experimento.

#### 3.7.1. Número de espigas brancas:

Foi determinada uma área de avaliação no centro de cada parcela, com 0,25 m<sup>2</sup>, e nesta área foram contadas as espigas brancas.

### 3.7.2. Peso hectolítrico dos grãos:

Após o beneficiamento da produção de cada parcela, tomou-se uma amostra ao acaso e determinou-se o peso hectolítrico dos grãos seguindo-se a metodologia tradicional.

### 3.7.3. Densidade de massa seca e de comprimento de raiz:

Foram coletadas 108 amostras de acordo com o método do trado descrito por SHUURMAN e GOEDEWAAGEN (1971) e BOHM (1979). Em cada parcela, ao acaso, foram feitas amostragens em três profundidades, 0-15 ; 15-30 e 30-45 cm com a finalidade de mensurar a densidade de comprimento de raiz conforme TENNANT (1975) e a densidade de massa seca em estufa a 60°C por 48 horas, BOHM (1979). Para calcular a densidade de comprimento da raiz, utilizou-se a equação  $C = N.fc$ , onde C é o comprimento, N o número de intercessões, e fc é um fator de correção. As coletas foram realizadas durante o período de ântese da cultura do trigo.

Após coletadas, as amostras foram deixadas em 25 ml. de hidróxido de sódio 1 N, diluído em 1 litro de água durante 12 horas, para a dispersão de argilas e em seguida foram lavadas em água corrente utilizando-se um jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,7 e 0,2 mm. Posteriormente as amostras das raízes foram acondicionadas em sacos plásticos contendo solução de etanol 50% e armazenadas a 0°C de acordo com BOHN (1979), até a sua utilização para as avaliações.

### 3.7.4. Avaliações físicas do solo:

Para as amostras indeterminadas retiradas no centro das camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm, foram determinados:

- Microporosidade:

Utilizando-se o método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1979).

- Macroporosidade:

Calculada utilizando-se a mesa de tensão com potencial equivalente a 60 cm de coluna de água.

Para o cálculo utilizou-se a expressão:

(%) Macroporosidade = Porosidade Total - Microporosidade. (EMBRAPA, 1979).

- Potencial da água no solo:

Para a avaliação da disponibilidade de água no solo, foram instalados tensiômetros em cada tratamento em três profundidades, onde o meio da capsula de porcelana estava a 12,5, 22,5 e 27,5 cm respectivamente, tendo-se registrado a tensão de água no solo diariamente desde a emergência até o espigamento da cultura, e através da expressão:

- Potencial da água no solo =  $(-12,6 h + H_c + z)$ (Mpa),  
(PREVEDELLO, 1988).

Onde:

$h$  é a altura da coluna de mercúrio, medida desde o nível da cuba.

$H_c$  é a distância medida desde o nível de mercúrio na cuba até a superfície do solo.  $Z$  é a profundidade de instalação do tensiômetro, medida desde a superfície do solo até a metade do comprimento da cápsula.

- Resistência à penetração do solo:

Para avaliar a resistência a penetração das raízes utilizou-se o penetrômetro de cone, modelo solotest s 310 com ângulo de penetração de 30° e área de base do cone de 6,33 cm<sup>2</sup>, em todas as parcelas, ao final do perfilhamento, com o solo apresentando uma umidade média de 4,25%, com base no peso. As leituras foram feitas a cada 5 cm de intervalos de profundidade até a profundidade de 60 cm de acordo com BRADFORD (1986). Com base nos valores das leituras foi calculado o índice de cone através da expressão:

\*Índice de cone (em MPa)=0,00855 + 0,00559 x valor da leitura (0,01 mm).

A amostragem deste parâmetro foi feita aleatoriamente por sub-parcela.

### 3.7.5. Rendimento:

Após a colheita de cada parcela, a produção foi beneficiada no equipamento intecnia, seca ao sol por sete horas, sendo após pesada e o rendimento obtido, convertido em kg/ha.

## 3.8. CROQUIS DO EXPERIMENTO

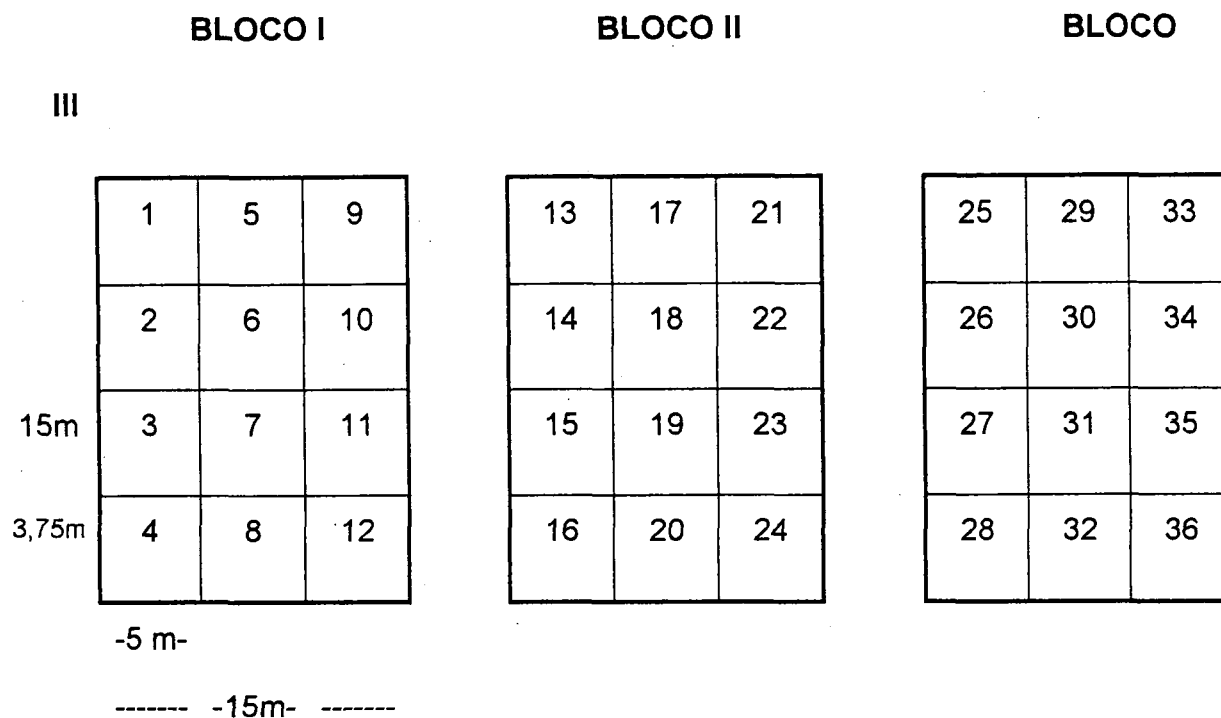


FIGURA 1. Croquis do experimento com a distribuição dos tratamentos.

NÚMERO DA SUB-PARCELA	TRATAMENTOS		
	TRÁFEGO	PREPARO	CALCÁRIO
1, 17, 33	Trator	Escarificação	sem
2, 18, 34	Trator	Escarificação	com
3, 19, 35	Trator	Gradagem off-set	sem
4, 20, 36	Trator	Gradagem off-set	com
5, 21, 25	Colheitadeira	Escarificação	sem
6, 22, 26	Colheitadeira	Escarificação	com
7, 23, 27	Colheitadeira	Gradagem off-set	sem
8, 24, 28	Colheitadeira	Gradagem off-set	com
9, 13, 29	Sem tráfego	Escarificação	sem
10, 14, 30	Sem tráfego	Escarificação	com
11, 15, 31	Sem tráfego	Gradagem off-set	sem
12, 16, 32	Sem tráfego	Gradagem off-set	com

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados os resultados da análise de variância resumida de cada um dos parâmetro avaliados acompanhadas das figuras correspondentes a cada um com as respectivas discussões.

### 4.1. PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO

São apresentados na Tabela 1 abaixo os resultados da análise de variância dos parâmetros físicos do solo.

TABELA 1. Resultados da análise de variância para o potencial de água no solo, macroporosidade e microporosidade.

CAUSAS DA VARIÇÃO	MACROPOROSIDADE		MICROPOROSIDADE		POTENCIAL DA ÁGUA NO SOLO	
	VALOR F	PROB.>F	VALOR F	PROB.>F	VALOR F	PROB.>F
BLOCO	5,342	0,075 ns	26,597	0,006 **	15,035	0,015 *
TRÁFEGO	3,441	0,135 ns	6,276	0,059 ns	2575,107	0,000 **
RESÍDUO (A)						
PARCELAS						
PREPARO	0,021	0,881 ns	0,841	0,602 ns	426,130	0,000 **
TRA*PRE	2,224	0,189 ns	0,844	0,522 ns	1678,826	0,000 **
RESÍDUO (B)						
SUB-						
PARCELAS						
CALAGEM	0,002	0,960 ns	0,085	0,771 ns	103,048	0,000 **
TRA*CAL	0,151	0,861 ns	1,341	0,298 ns	18,881	0,000 **
PRE*CAL	15,292	0,002 **	40,598	0,000 **	39,303	0,000 **
TRA*PRE*CAL	2,122	0,161 ns	3,263	0,072 ns	7,905	0,006 **
RESÍDUO (C)						
MEDIA		17,284		31,107		-162,472
GERAL						
C.V. (A)		7,535%		1,148%		0,271%
C.V. (B)		2,813%		1,280%		0,348%
C.V. (C)		11,478%		3,012%		4,598%

#### 4.1.1. Macro e Microporosidade:

Na Tabela 1 e Figuras 2 e 3, pode-se verificar que o preparo do solo e a calagem exerceram efeito significativo (99%) sobre a micro e a macroporosidade do solo. Dentre os tratamentos testados os maiores índices de macroporos foram obtidos na ausência de tráfego, preparo do solo escarificação com calagem que apresentou 19,3% de macroporos, seguido do tratamento sem tráfego, preparo do solo gradagem off-set sem calagem, com 19,0% de macroporos.

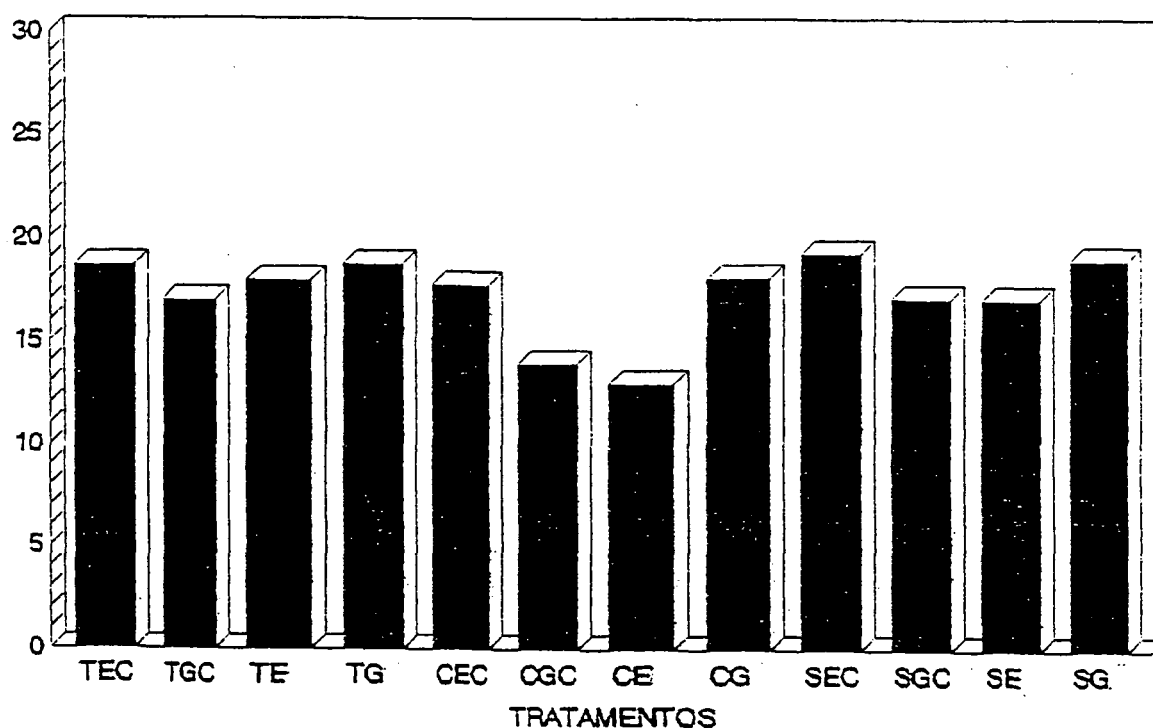


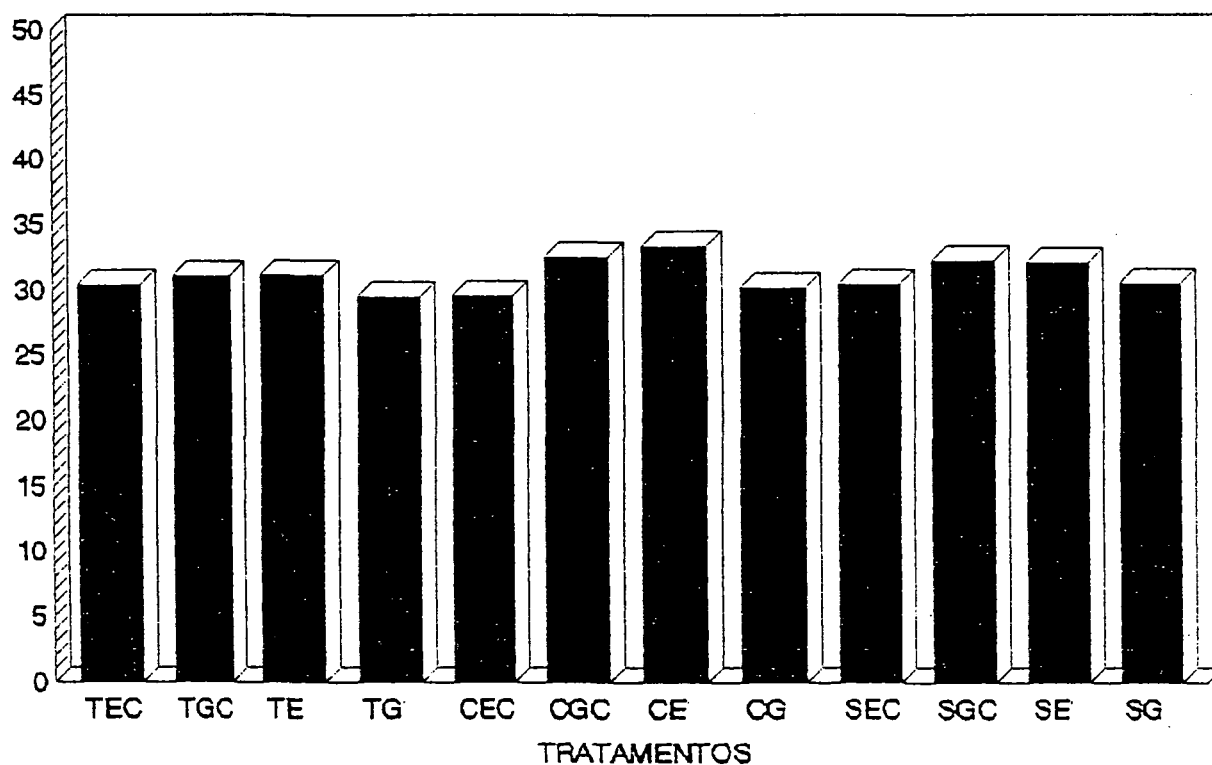
FIGURA 2: Macroporosidade, média do solo.



Com relação aos microporos, dentre os tratamentos testados, o que apresentou maior proporção de microporos foi o tráfego de colheitadeira, preparo do solo escarificação sem calagem, com 33,4% de microporos, seguido do tráfego da colheitadeira, preparo do solo gradagem off-set combinado com a calagem, com 32,5% de microporos. Percebe-se que sob o preparo do solo escarificação, os resultados foram melhores, porém sem calagem, tanto nos macroporos como nos microporos, ao passo que nos tratamentos de preparo do solo gradagem off-set, com desempenho imediatamente inferior aos de preparo escarificação, os melhores resultados foram combinados com a calagem no caso dos microporos e sem a calagem no caso dos macroporos.

Um dos fatores que contribuíram para a aproximação dos valores entre os tratamentos foi motivada pela utilização de médias na amostragem das profundidades, diluindo desta forma as diferenças observadas em cada intervalo.

O efeito das operações de manejo sobre a porosidade do solo aqui constatados confirmam as observações de (GOSS et. al., 1984), que identificou os efeitos semelhantes das práticas de manejo do solo sobre a continuidade dos poros e que isto trouxe consequências sobre a distribuição de raízes e da drenagem do perfil do solo, que são fatores que contribuem para a ocorrência e intensidade do mal-do-pé (REIS, 1990; ALLMARAS et. al., 1983).



**FIGURA 3: Microporosidade média do solo.**

As relações existentes entre as alterações da porosidade do solo e a ocorrência do mal-do-pé, JAMES e SUTTON (1990), constataram que o adensamento do solo alterou a porosidade afetando a transmissão de calor absorvido dentro e fora do solo trazendo implicações ao fungo causador da doença. ALLMARAS et al. (1988) estudando o contacto raiz-patógeno observaram que existe relação com a porosidade do solo, pois um solo excessivamente compactado impede o crescimento radicular e a drenagem, concentrando as raízes e aumentando a severidade da doença.

#### 4.1.2. Potencial da Água no Solo:

Os dados apresentados na Figura 4 foram obtidos utilizando-se as expressões abaixo que possibilitaram a obtenção do potencial médio ponderado das três profundidades avaliadas.

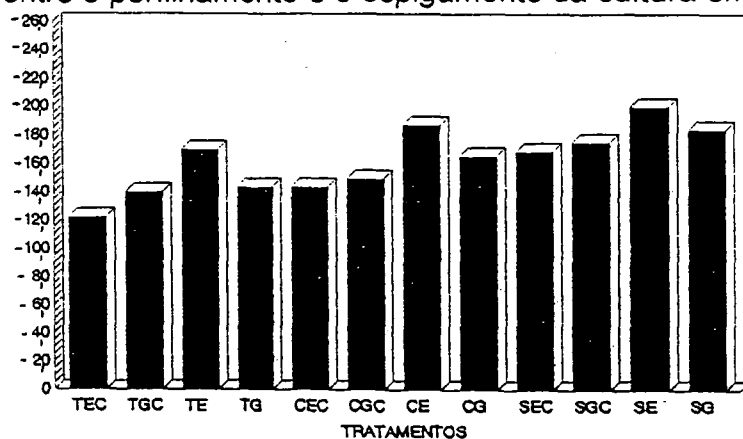
Inicialmente obteve-se o potencial médio por profundidade por tensiômetro, através da expressão:

$$\Psi = \frac{\text{Potencial do dia na profundidade} \times \text{intervalo em dias entre leituras}}{\text{número de dias do período}}$$

A seguir calculou-se o potencial médio das profundidades através da expressão:

$$\Psi = \frac{\text{Potencial médio por profundidade} \times \text{fator de ponderação da profundidade}}{\text{soma dos fatores de ponderação (30)}}$$

Através da metodologia acima obteve-se um valor médio das profundidades avaliadas de potencial da água no solo no período compreendido entre o perfilhamento e o espigamento da cultura em cada um dos tratamentos.



**FIGURA 4: Potencial de água médio do solo.**

De acordo com os dados da análise de variância (Tabela 1) e (Figura 4), pode-se observar que todos os tratamentos exerceram influência sobre a disponibilidade de água do solo às plantas.

Dentre todos os tratamentos testados aquele em que a porosidade do solo reteve a água a menor potencial, e por isso mais disponível as plantas, foi sob o tráfego do trator e preparo do solo escarificação, com calagem, que apresentou o potencial da água no solo de -12,2 kPa, contra -14,0 kPa do tratamento tráfego do trator, preparo do solo gradagem off-set com calagem.

A provável explicação para o fato está na interferência que as práticas de manejo do solo exercem sobre as propriedades físicas do solo, particularmente sobre a continuidade dos poros, e dentre estes, sobre os macroporos que estão relacionados com a drenagem do perfil, segundo constatou GOSS et al. (1984). Também importante e ligado com a porosidade do solo, e com o potencial da água retida no espaço poroso, é a movimentação da comunidade microbiológica, em especial, os organismos deprimores da doença, conforme os dados de (Papendick et al., 1981) citado por (HOWIE et. al., 1987).

Assim sendo a compactação e as práticas de manejo do solo influenciam a disponibilidade de água no perfil seja promovendo o excesso pela redução da porosidade de drenagem seja pela formação de camadas excessivamente adensadas promovendo déficit hídrico. As condições ambientais tanto de excesso como de falta de umidade interferem negativamente sobre as raízes das plantas pela condição de anaerobiose que impõe a estes no caso do

excesso de água ou pela baixa disponibilidade que interfere no fluxo de nutriente. Além dos efeitos sobre a planta, reduzindo a extensão da raiz e maximizando o contacto raiz-patógeno, interfere sobre o desenvolvimento do *G. graminis* e dos organismos antagônicos.

#### 4.2. PARÂMETROS DA RAIZ

São apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, os resultados da análise de variância dos parâmetros da raiz das plantas de trigo, que são a densidade de massa seca de raiz, densidade de comprimento de raiz e a resistência à penetração do solo.

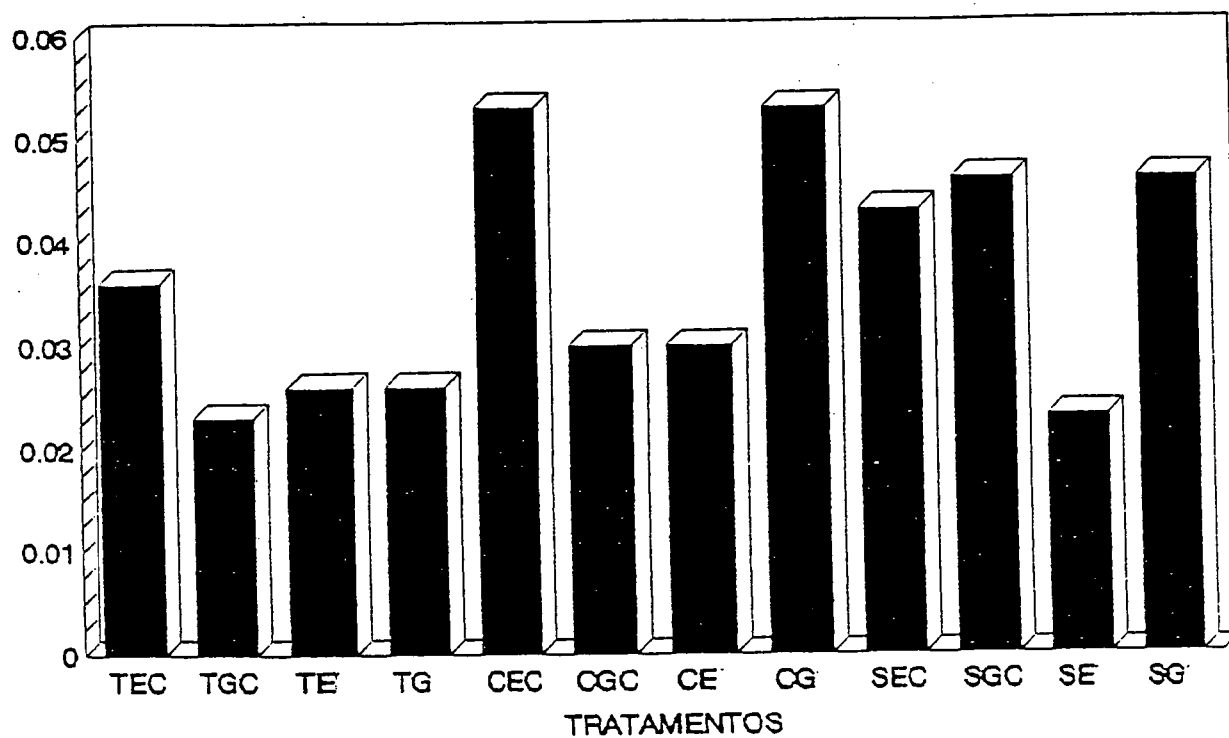
TABELA 2. Resultados da análise de variância para a densidade de massa seca de raiz e densidade de comprimento da raiz.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	DENSIDADE DE MASSA SECA DA RAIZ		DENSIDADE DE COMPRIMENTO DA RAIZ	
	VALOR F	PROB. >F	VALOR F	PROB. >F
BLOCO	6,636	0,054 ns	1,959	0,225 ns
TRÁFEGO	6,909	0,050*	3,082	0,155 ns
RESÍDUO (A)				
PARCELAS				
PREPARO	0,192	0,677 ns	0,548	0,508 ns
TRA*PRE	1,349	0,328 ns	1,034	0,412 ns
RESÍDUO (B)				
SUB-				
PARCELAS				
CALAGEM	0,576	0,531 ns	8,770	0,010 **
TRA*CAL	0,252	0,783 ns	11,758	0,001 **
PRE*CAL	5,189	0,039*	31,732	0,000 **
TRA*PRE*CAL	0,756	0,506 ns	4,143	0,042 *
RESÍDUO (C)				
MÉDIA GERAL		0,036		18,565
C.V. (A)		13,056%		6,594%
C.V. (B)		29,282%		7,868%
C.V. (C)		47,889%		10,956%

#### 4.2.1. Densidade de Massa Seca de Raiz:

Analisando-se os dados de densidade de massa seca de raiz (Tabela 2 e Figura 5), observa-se que houveram efeitos significativos do tráfego, e da interação preparo do solo com a calagem. A maior quantidade de massa seca de raiz obtida foi sob os tratamentos tráfego da colheitadeira, com preparo do solo escarificação com calagem, seguidos por tráfego da colheitadeira com preparo do solo com gradagem off-set sem calagem, com desempenho semelhante.

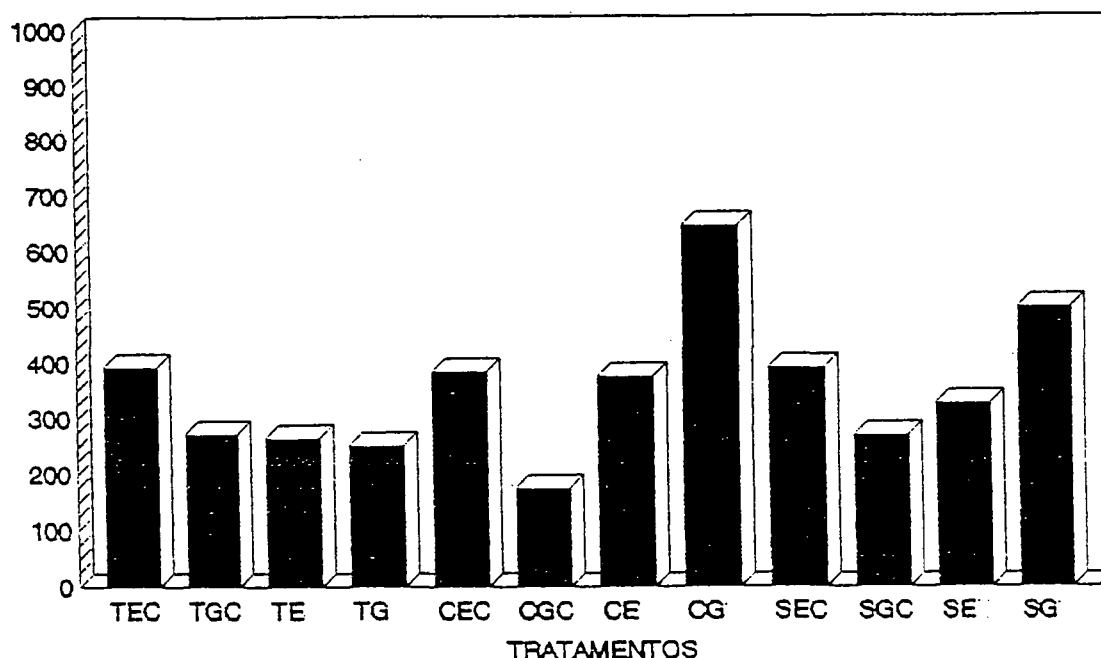
Tal fato pode ser explicado pela presença da calagem, no preparo do solo escarificação, permitindo um aprofundamento das raízes, também facilitado pelo rompimento da camada adensada com a consequente distribuição mais profunda do calcário, além de minimizar o contato raiz-inóculo. No caso do preparo do solo gradagem off-set, a quantidade de massa seca foi equivalente à apresentada sob o tratamento escarificação, porém em menor profundidade, pois a gradagem off-set não rompeu a camada compactada ocasionando uma distribuição radicular mais superficial e com a ausência da calagem, fato que refletiu no rendimento de grãos, que foi 100% menor (Figura 10), pois neste caso o contato de inóculo da doença com a raiz foi maximizado, aumentando substancialmente a intensidade da doença (Figura 9), além de causar limitações ao suprimento de água, nutrientes e das trocas gasosas às plantas e raízes.



**FIGURA 5: Densidade de massa seca de raiz média do solo.**

#### 4.2.2. Densidade de Comprimento de Raiz:

Analisando-se os dados da análise de variância apresentados na Tabela 2, e a Figura 6 pode-se observar que a calagem exerceu efeito significativo sobre a densidade de comprimento da raiz.



**FIGURA 6:** Densidade de comprimento de raiz média do solo.

Foi observado também que as interações simples tráfego com calagem, preparo com calagem e a interação tripla tráfego com preparo do solo e calagem exerceram efeito significativo sobre a densidade de comprimento da raiz. Dentre os tratamentos, o que apresentou o melhor desempenho, produzindo maior densidade de comprimento da raiz, foi a combinação tráfego da colheitadeira, e preparo do solo gradagem off-set, sem calagem, com 647 cm/cm<sup>3</sup>. Nos tratamentos envolvendo o preparo do solo com gradagem off-set, houveram diferenças entre os tráfegos, porém o destaque ficou com o tratamento calagem, onde a ausência de tráfego proporcionou um aumento de 94% na densidade de comprimento da raiz, quando comparado com o tratamento com tráfego e o preparo do solo gradagem off-set. Nos tratamentos preparo do solo com escarificação, não houveram diferenças significativas entre os tráfegos, porém a densidade de comprimento da raiz foi 17% maior com a calagem.



Verifica-se, portanto, que o efeito da calagem está mais relacionado com o tipo de preparo do solo do que com o tráfego. Tal desempenho pode ser explicado pela ausência da calagem no preparo do solo gradagem off-set, que minimizou os efeitos da doença. Talvez o déficit hídrico atípico, durante a safra, como pode ser observado no Gráfico 1 do Anexo I, provocou efeito sobre a proliferação das raízes.

#### 4.2.3. Resistência à Penetração do Solo:

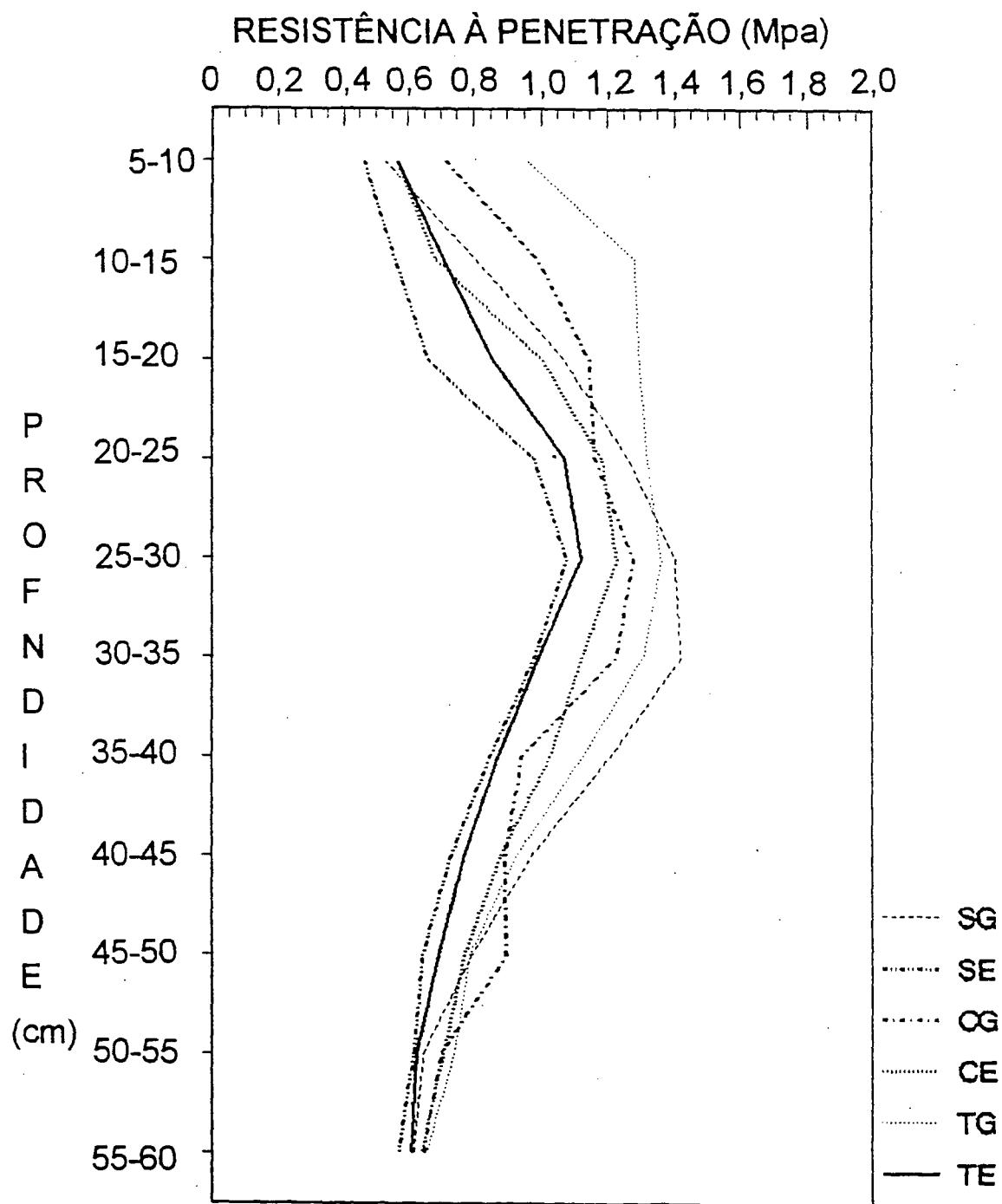
Os dados apresentados nas Tabelas 3 e 4 e na Figura 7 foram obtidos por amostragem no centro de cada sub-parcela conforme croqui de experimento (Figura 1) nas diversas profundidades avaliadas. Analisando-se as Tabelas 3 e 4 e a Figura 7, percebe-se nitidamente que o tratamento preparo do solo exerceu influência significativa sobre a resistência à penetração do solo, em todas as profundidades avaliadas. A interação tráfego-preparo do solo também apresentou-se significativa em quase todas as profundidades avaliadas, exceto aos intervalos 5-10 cm, 45-50 cm e 55-60 cm.

TABELA 3. Resultado da análise de variância para a resistência à penetração do solo, por profundidade entre 05 e 30 cm.

CAUSAS DA VARIÇÃO	INTERVALO DE PROFUNDIDADE									
	5 a 10 cm		10 a 15 cm		15 a 20 cm		20 a 25 cm		25 a 30 cm	
	VALOR F	PROB. >F	VALOR F	PROB. >F	VALOR F	PROB. >F	VALOR F	PROB. >F	VALOR F	PROB. >F
BLOCO	2,111	0,236 ns	1,311	0,365 ns	0,053	0,948 ns	1,267	0,375 ns	1,372	0,352 ns
TRÁFEGO	7,154	0,049 *	4,292	0,101 ns	1,942	0,275 ns	1,227	0,384 ns	0,038	0,963 ns
RESÍDUO (A)										
PARCELAS										
PREPARO	12,872	0,001 **	61,486	0,000 **	71,263	0,001 **	20,850	0,000 **	39,786	0,000 **
TRA*PRE	3,125	0,06 ns	4,420	0,022 *	5,785	0,008 **	6,541	0,005 **	6,219	0,006 **
RESÍDUO (B)										
MEDIA GERAL	0,635		0,840		1,008		1,166		1,247	
C.V. (A)	13,642%		15,576%		14,857%		5,003%		4,529%	
C.V. (B)	26,506%		17,077%		11,691%		9,728%		7,766%	

TABELA 4. Resultados das análises de variância para a resistência à penetração do solo, por profundidade entre 30 e 60 cm.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	INTERVALO DE PROFUNDIDADE											
	30 a 35 cm		35-40 cm		40 a 45 cm		45 a 50 cm		50 a 55 cm		55 a 60 cm	
	VALOR F	PROB. > F	VALOR F	PROB. > F	VALOR F	PROB. > F	VALOR F	PROB. > F	VALOR F	PROB. > F	VALOR F	PROB. > F
BLOCO	1,700	0,292 ns	0,186	0,836 ns	0,038	0,963 ns	0,834	0,500 ns	0,409	0,691 ns	3,969	0,112 ns
TRÁFEGO	0,385	0,705 ns	0,283	0,768 ns	0,358	0,720 ns	1,855	0,269 ns	2,506	0,197 ns	3,372	0,139 ns
RESÍDUO (A)												
PARCELAS	59,002	0,000 **	21,832	0,000 **	32,631	0,000 **	52,70	0,000 **	14,352	0,001 **	7,135	0,012 *
PREPARO							9					
TRA*PRE	6,892	0,004 **	12,648	0,000 **	7,587	0,003 **	0,979	0,608 ns	8,144	0,002 **	0,957	0,599 ns
RESÍDUO (B)												
MEDIA GERAL	1,176		1,006		0,866		0,770		0,676		0,626	
C.V. (A)	5,759%		7,467%		6,902%		10,233%		6,096%		4,205%	
C.V. (B)	9,518%		11,139%		8,301%		6,740%		5,628%		6,258%	



**FIGURA 7: Resistência à penetração do solo.**

Outra constatação importante que pode ser verificada, está relacionada com os valores da média geral, que na sequência de cada intervalo, foi apresentando um acréscimo até atingir um máximo de resistência à penetração no intervalo de profundidade de 25 a 30 cm, onde foi constatada a camada adensada do perfil, provavelmente gerada pelo tráfego de superfície nos anos anteriores ao experimento.

No intervalo de profundidade de 35 a 40 cm, as resistências à penetração do solo constatadas nas profundidades acima examinadas se mantiveram quase que na totalidade, à exceção do tráfego da colheitadeira. Esta exceção provavelmente deve-se à problema de amostragem ou à variabilidade espacial, pois a tendência apresentada nas profundidades avaliadas até então mostraram o contrário.

Avaliando-se o efeito dos tratamentos e interações, pode-se observar que de maneira geral em quase todas as profundidades avaliadas, os tratamentos que proporcionaram menor resistência do solo à penetração das raízes foram a ausência de tráfego, combinado com o preparo do solo escarificação, seguido dos tratamentos sem tráfego combinado com o preparo do solo gradagem off-set. Para todos os tratamentos envolvendo a escarificação ficou demonstrado claramente a capacidade deste tipo de preparo do solo em minimizar os efeitos da compactação do solo oriundos do tráfego do equipamento agrícola.

### 4.3. PARÂMETROS FITOTÉCNICOS

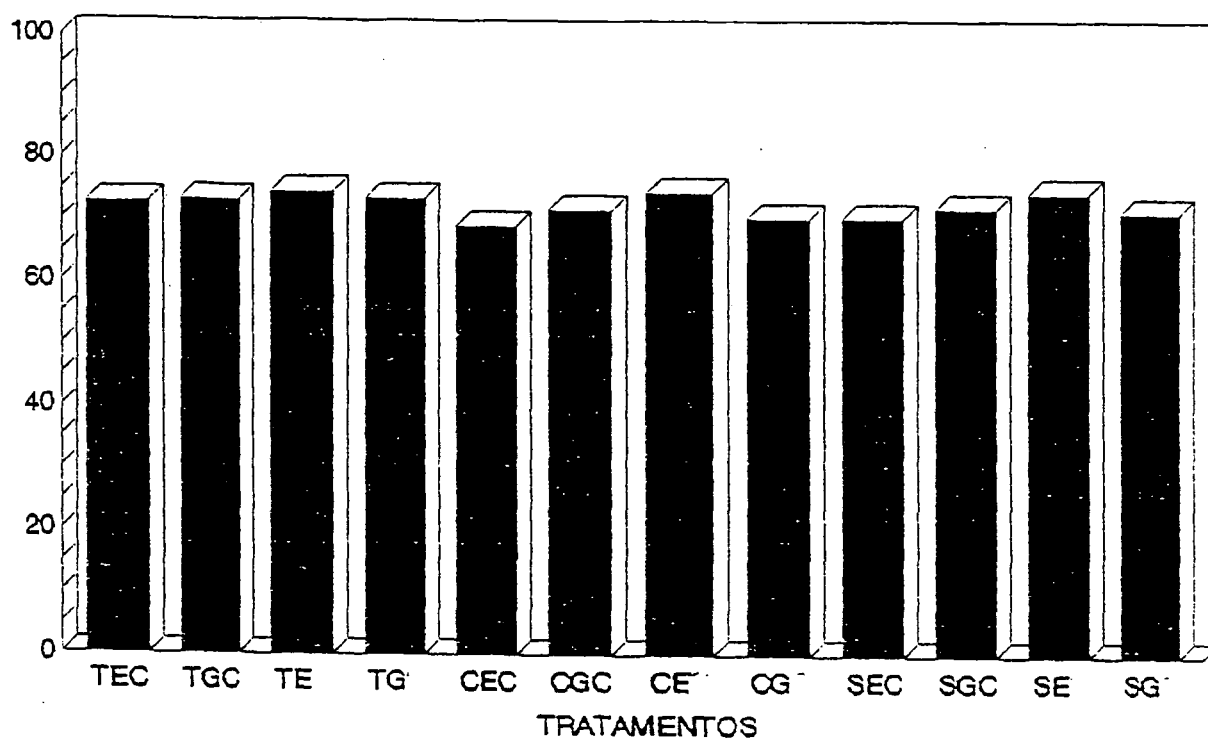
São apresentados na Tabela 5 e Figuras 8, 9 e 10 os resultados da análise de variância dos parâmetros fitotécnicos do experimento que são o peso hectolítrico dos grãos, número de espigas brancas e o rendimento de cada sub-parcela.

TABELA 5. Resultados da análise de variância para o rendimento, número de espigas brancas e peso hectolítrico dos grãos.

CAUSA DA VARIACÃO	NÚMERO DE ESPIGAS BRANCAS		PESO HECTOLÍTRICO DOS GRÃOS		RENDIMENTO	
	VALOR F	PROB.>F	VALOR F	PROB.>F	VALOR F	PROB.>F
BLOCO	0,818	0,505 ns	8,687	0,036*	7,349	0,047*
TRÁFEGO	2,189	0,227 ns	25,000	0,007**	0,836	0,501 ns
RESÍDUO (A)						
PARCELAS						
PREPARO	5,818	0,050*	0,699	0,560 ns	2,452	0,166 ns
TRA*PRE	0,438	0,667 ns	0,363	0,712 ns	0,255	0,976 ns
RESÍDUO (B)						
SUBPARCELAS						
CALAGEM	11,389	0,005 **	20,631	0,000**	11,810	0,005**
TRA*CAL	1,259	0,319 ns	1,368	0,291 ns	0,058	0,943 ns
PRE*CAL	34,008	0,000**	38,000	0,000**	66,692	0,000**
TRA*PRE*CAL	1,637	0,234 ns	4,526	0,033*	1,501	0,261 ns
RESÍDUO (C)						
MÉDIA GERAL	35,882		72,222		36,073	
C.V. (A)	13,587%		0,462%		4,825%	
C.V. (B)	24,854%		1,951%		6,743%	
C.V. (C)	30,657%		1,423%		15,656%	

#### 4.3.1. Peso Hectolítico dos Grãos:

São apresentados na Tabela 5 e Figura 8 os resultados da análise de variância do peso hectolítico dos grãos obtidos em cada tratamento.



**FIGURA 8: Peso hectolítico dos grãos.**

Conforme os dados apresentados (Tabela 5), observa-se que houveram efeitos estatisticamente significativos sobre o peso hectolítico dos grãos causado pelo tráfego, pela calagem e pela interação simples preparo do solo com a calagem bem como pela interação tripla, tráfego, preparo do solo e calagem. Analisando-se os dados da Figura 8 observa-se o destaque do peso hectolítico dos grãos obtidos após os tratamentos do tráfego da colheitadeira e sem tráfego, combinados com o preparo do solo escarificação sem calagem, com

valores médios de peso hectolítrico de 74,3, seguido pelos tratamentos, tráfego do trator, preparo do solo gradagem off-set sem calagem, que apresentou valores médios de peso hectolítrico de 73,3. Em contrapartida, os valores de peso hectolítrico mais baixos, ocorreram após os tratamentos tráfego da colheitadeira, preparo do solo escarificação com calagem, com valores médios de 69. Ficou evidenciado que os maiores valores de peso hectolítrico dos grãos foram obtidos das interações do preparo do solo escarificação sem a calagem, enquanto que o rendimento e o número de espigas brancas, apresentaram os melhores resultados sob o mesmo preparo do solo, porém com calagem.

Outro dado interessante observado foi que os maiores valores de peso hectolítrico dos grãos foram obtidos tanto sob o tráfego da colheitadeira, como no tratamento sem tráfego algum, evidenciando a eficiência do preparo do solo escarificação sobre os efeitos da compactação.

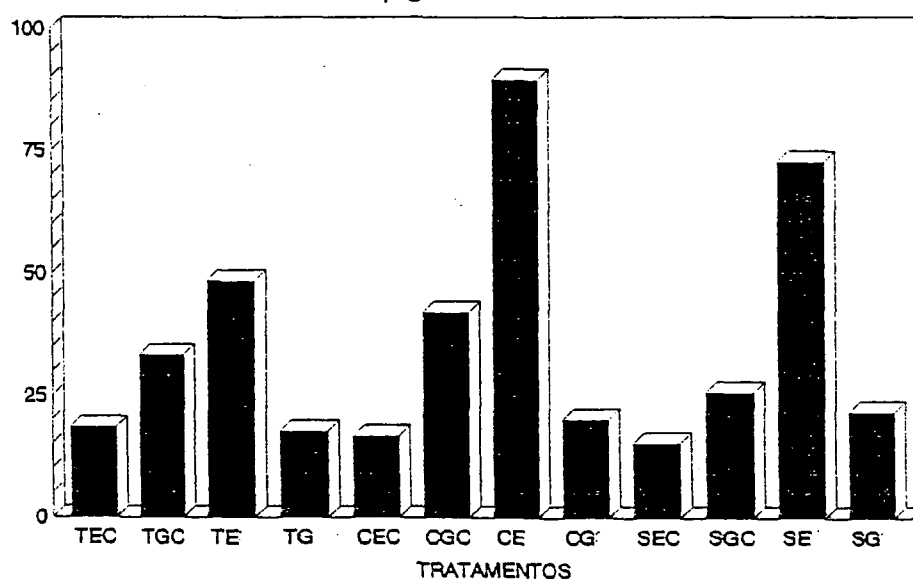
A provável explicação para os resultados apresentados, está relacionada com os efeitos da doença, sobre a quantidade e qualidade do produto final em função das inúmeras variáveis que estão associadas com os níveis da doença, de acordo com CUNNINGHAM et al. (1968). Por ter sido o preparo do solo o fator determinante do peso hectolítrico dos grãos, os efeitos deste sobre o solo proporcionaram às plantas, no caso da escarificação, uma melhor condição física do solo, tais como a porosidade, o espaço aéreo e com estes o aumento das taxas de troca gasosa com a atmosfera, e da drenagem do perfil, melhorando a atividade microbiana do solo e minimizando assim, os efeitos da doença (REIS, 1990).

Além dos efeitos acima, decorrentes do manejo do solo, houve também

um aprofundamento das raízes das plantas, (Tabela 2) decorrente do rompimento da camada adensada existente ao redor dos 25 cm de profundidade, possibilitando o acesso destas a camadas até então inacessíveis, provavelmente minimizando o contato inóculo-hospedeiro pela dispersão dos resíduos.

#### 4.3.2. Número de Espigas Brancas:

São apresentadas na Tabela 5 e Figura 9 os resultados da análise de variância do número de espigas brancas obtidas em cada tratamento.



**FIGURA 9: Número de espigas brancas.**

Analisando-se os dados obtidos (Tabela 5 e Figura 9), observamos que houve efeito significativo na interação preparo do solo com a calagem, não tendo sido observado também, neste caso, efeito significativo do tráfego sobre o número de espigas brancas. Os melhores resultados, que correspondem ao menor número de espigas brancas, foram observados no tratamento escarificação com calagem, que apresentou 16,7 espigas brancas contra 33,6 do preparo do solo



gradagem off-set com calagem, correspondendo a uma diferença entre os tratamentos de 102%, confirmando mais uma vez que no caso da gradagem off-set, o contato raiz-inóculo foi favorecido pela concentração das raízes na parte superficial do perfil proporcionado por este tipo de preparo do solo, ao contrário do que ocorreu com o preparo escarificação com calagem, onde houve uma melhor distribuição do sistema radicular das plantas, favorecido pela distribuição do calcáreo a maiores profundidades, melhorando o suprimento de água e nutrientes às plantas e diminuindo o contato raiz-inóculo e consequentemente a doença, também conforme as observações de ALLMARAS et al. (1988).

Nos tratamentos de preparo do solo sem calagem, os resultados foram o inverso, apresentando maior número de espigas brancas sob preparo do solo escarificação, onde a média foi 70,1, contra 19,7 no preparo gradagem off-set. O que pode ter ocasionado tal comportamento é que sob preparo do solo com escarificação, o sistema radicular das plantas foi submetido a uma condição desfavorável de desenvolvimento proporcionado pelos baixos níveis de cálcio e fósforo no solo abaixo dos 20 cm de profundidade, com consequências sobre a intensidade de manifestação da doença, evidenciando o enfraquecimento da planta, e não em ação direta contra o patógeno, conforme as observações de REIS (1990). Outro fenômeno constatado por Huisman (1982, citado por ALLMARAS et al., 1988) é que as raízes das plantas sob stress físico produzem exudatos que estimulam as estruturas fúngicas dormentes no solo, aumentando assim a intensidade da doença. No caso do preparo do solo com gradagem off-set sem calagem, as condições de fertilidade acima da camada compactada eram melhores do que aquelas verificadas no preparo do solo escarificação sem calagem, fortalecendo desta forma a planta nutricionalmente, diminuindo a

intensidade da doença, e neste caso específico, a ausência do calcáreo foi benéfica, devido a presença da camada compactada, uma vez que esta camada do solo recebeu nos últimos anos, calagem e adubação. A presença da calagem, portanto, ofereceu a este tratamento melhores condições para o desenvolvimento da planta em detrimento ao patógeno. De acordo com COVENTRY e KOLLMORGEN (1987), níveis favoráveis de cálcio no solo, e não o pH, são os responsáveis pela supressão da doença e altos níveis de manganês e provavelmente alumínio, associados com baixos níveis de cálcio e fósforo são estimulativos à doença, consolidando as observações acima.

As constatações dos autores acima podem ser comprovadas na análise de variância do parâmetro NÚMERO DE ESPIGAS BRANCAS (Tabela 5) e na Figura 9), em que o menor número de espigas brancas, que reflete o nível de infecção, foram obtidos sob tratamento que proporcionou maiores valores de espaço aéreo do solo.

Outras observações consequentes da influência deste parâmetro sobre o desenvolvimento radicular são confirmados por FERRAZ (1973), que verificou o aumento da taxa de dióxido de carbono da superfície das raízes, concluindo-se que o *G. graminis* é mais sensível à pressão parcial de dióxido de carbono, do que são outros fungos do solo. Os resultados obtidos estão de acordo com aqueles citados no trabalho de revisão de ALLMARAS ee al. (1988) onde consta que a aeração pobre do solo, pode reduzir a taxa de avanço da raiz em até 75%, como também reduzir as formações laterais destas. Outra constatação feita pelos mesmos autores, é a de que sob em solo com aeração deficiente, pelo encharcamento, o exudato pode se difundir por grandes distâncias, estimulando

mais propágulos a germinar.

#### 4.3.3. Rendimento:

São apresentados na Tabela 5 e Figura 10, os resultados da análise de variância do rendimento obtido em cada um dos tratamentos.

Analizando-se os dados obtidos (Tabela 5 e Figura 10), pode-se observar que houve efeito significativo isolado da calagem sobre o rendimento. Efeito igualmente significativo foi observado também na interação tipo de preparo do solo com a calagem. Não houve, portanto, efeito estatisticamente significativo do tráfego sobre o rendimento do trigo, neste caso.

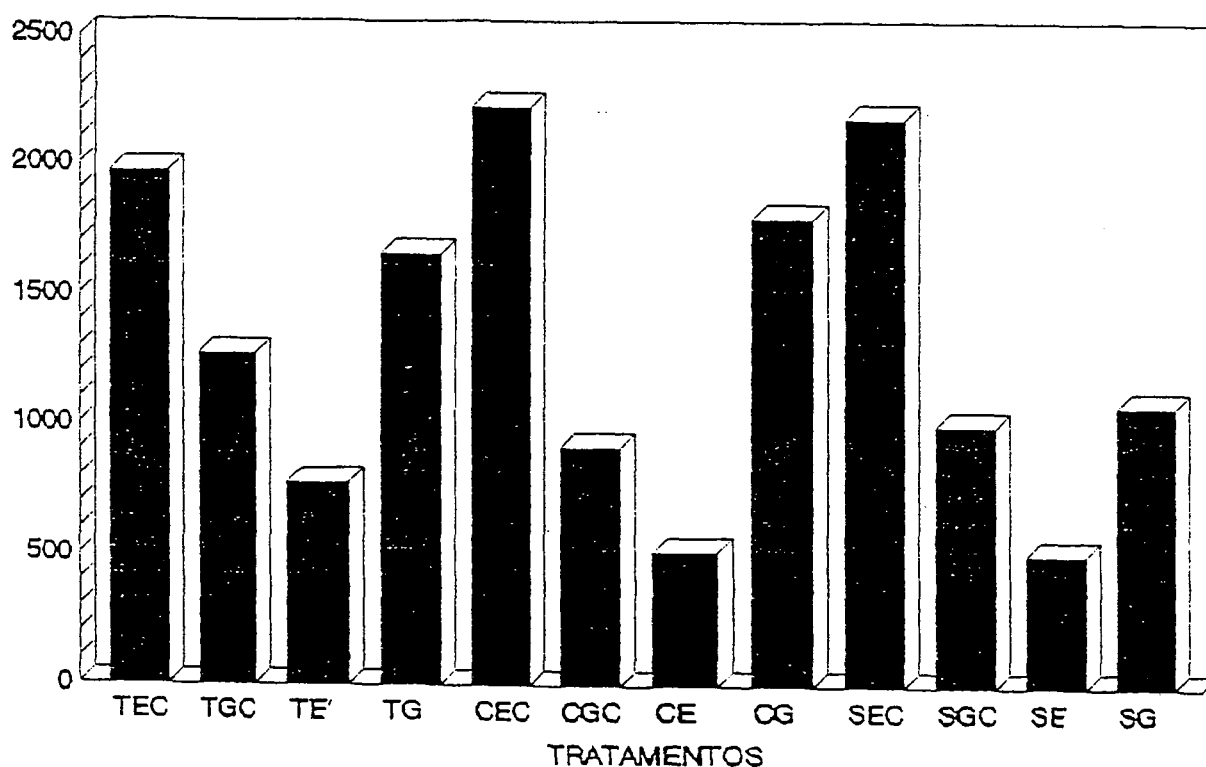


FIGURA 10: Rendimento.

Dentre as interações preparo de solo-calagem, os melhores resultados obtidos foram aqueles provenientes dos tratamentos de escarificação com calagem que produziram em média o equivalente a 2.124 kg/ha contra 1.060 kg/ha obtidos sob o tratamento gradagem off-set com calagem, ou seja, 100% a mais. Este fato pode ser explicado provavelmente pela distribuição mais profunda do calcáreo no perfil do solo, no caso do preparo do solo escarificação, rompendo a camada compactada existente e permitindo o aprofundamento do sistema radicular das plantas, que exploraram melhor o solo, melhorando a absorção de água e nutrientes, atuando sobre a resistência da planta à doença, confirmando as observações de MAC NISH (1973) e (Garret, 1946 e Huber, 1981, citados por COVENTRY e KOLLMORGEN, 1987).

Outro fato importante a ser considerado refere-se ao contato raiz-inóculo que foi menor sob preparo do solo com escarificação do que com gradagem off-set, onde as raízes ficaram restritas a superfície do perfil do solo sujeitas a stress hídrico, e expondo o sistema radicular destas plantas a um maior contato raiz-inóculo, aumentando a severidade da doença.

Nos tratamentos de preparo do solo sem calagem, os resultados obtidos foram o inverso daqueles com calagem. O tratamento preparo do solo com escarificação sem calagem apresentou rendimento médio equivalente a 594 kg/ha, contra 1719 kg/ha do tratamento gradagem off-set, 189% maior. Este comportamento foi provavelmente devido à deficiência nutricional induzida pelo baixo pH, como pode ser observado no Quadro 1, a que foram submetidas as plantas no tratamento escarificação, confirmando os resultados de ALLMARAS et al. (1983).

No caso do tratamento gradagem off-set sem calagem, as raízes encontraram um solo mais fértil proveniente das safras anteriores (Quadro 1) e com maior umidade, do que aquele do tratamento escarificação sem calagem, pois devido a existência de uma camada adensada, a 20 cm de profundidade em todo o experimento, no caso da gradagem off-set ela não foi rompida (Figura 7) funcionando como uma barreira física, e mantendo nas camadas superficiais do perfil, até a camada adensada, uma condição melhor do que aquela proporcionada pelo preparo gradagem off-set, confirmando as observações de REIS (1990) de que o mal do pé se manifesta mais drasticamente em solos pouco férteis.

## 5. CONCLUSÕES

### Propriedades Físicas do Solo:

- Com relação à porosidade observou-se que o preparo do solo e a calagem exerceram efeito estatisticamente significativo sobre a macro e microporosidade do solo. Os maiores índices tanto de macro como de microporos foram obtidos após as interações preparo do solo escarificação com calagem.
- Todos os tratamentos testados exerceram influência sobre o potencial de água do solo. Dentre todos, os tratamentos e interações, aquele em que o solo reteve água a menor potencial foi sob a interação preparo do solo escarificação com a calagem.

### Sistema Radicular:

- Avaliando-se a densidade de massa seca de raiz produzida sob os diferentes tratamentos do experimento, aquele em que as plantas produziram o maior índice deste parâmetro foi sob a interação preparo do solo escarificação com a calagem, que exerceram influência estatisticamente significativa.
- Com relação a densidade de comprimento de raiz, a despeito de terem ocorrido influências estatisticamente significativas da calagem e das

interações tráfego, preparo, calagem, a maior densidade de comprimento de raiz foi obtida sob preparo do solo gradagem off-set sem calagem.

- Os tratamentos preparo do solo exerceram influência significativa sobre a resistência à penetração do solo pelas raízes em todas as profundidades avaliadas. De maneira geral, a menor resistência à penetração das raízes ocorreu sob o preparo do solo escarificação combinado com o tratamento sem tráfego.

#### Qualidade do Trigo, Intensidade da Doença e Rendimento:

- O peso hectolítrico dos grãos foi influenciado de forma estatisticamente significativa, pelo tráfego, calagem e preparo do solo. Os melhores índices deste parâmetro foram obtidos após o preparo do solo escarificação sem calagem.
- O número de espigas brancas, que reflete a intensidade da doença, foi influenciado pela interação preparo do solo calagem, estatisticamente significativo. O menor número de espigas brancas que corresponde a menor intensidade da doença, foi observado na interação preparo do solo escarificação com calagem.
- O rendimento foi afetado estatisticamente e significativamente pela interação preparo do solo com a calagem. Os melhores rendimentos obtidos foram sob o preparo do solo escarificação com a calagem.

Os resultados obtidos neste experimento demonstram que mais

importante do que o tráfego do equipamento agrícola sobre o solo é a escolha adequada das práticas de manejo subsequentes que poderão ou não minimizar os efeitos da compactação do solo. A porosidade do solo foi alterada diferentemente pelas práticas de manejo testadas, implicando nas alterações do regime hídrico e da aeração do solo. Dentre os sistemas utilizados, a escarificação a 35 cm de profundidade foi a que apresentou os melhores resultados, reduzindo a intensidade da doença e aumentando o rendimento e a qualidade do trigo. A calagem do solo apresentou efeito negativo sobre a intensidade da doença quando combinada com práticas de manejo do solo que não minimizaram os efeitos da compactação, tal como a gradagem off-set.



## 6. RECOMENDAÇÕES

- Implicações Práticas ao Agricultor:

A utilização de sistemas de manejo do solo que evitem a formação de camadas excessivamente compactadas de sub-superfície tais como “pé-de-grade”.

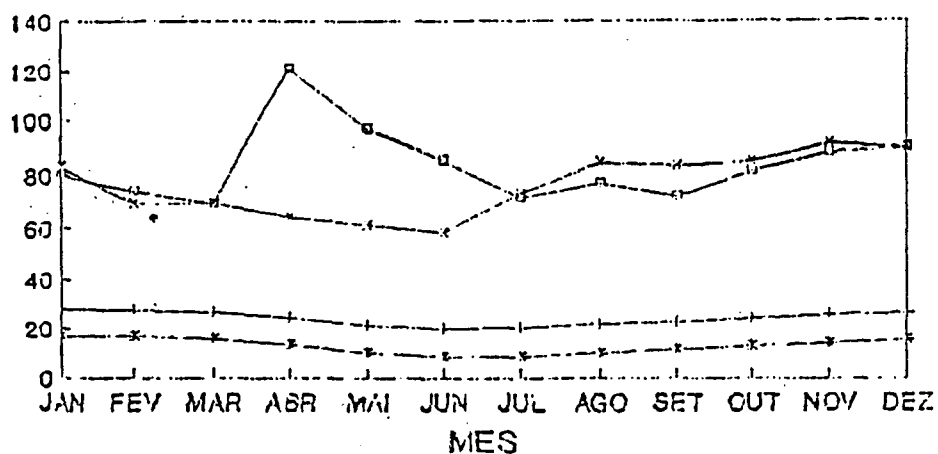
- Futuras Pesquisas:

O presente trabalho identificou uma série de relações das propriedades físicas do solo com a ocorrência e intensidade do mal-do-pé do trigo, que devem ser objeto de investigações mais aprofundadas, especialmente no aspecto quantitativo das interrelações com a comunidade microbiológica, combinados com a disponibilidade de nutrientes do solo.

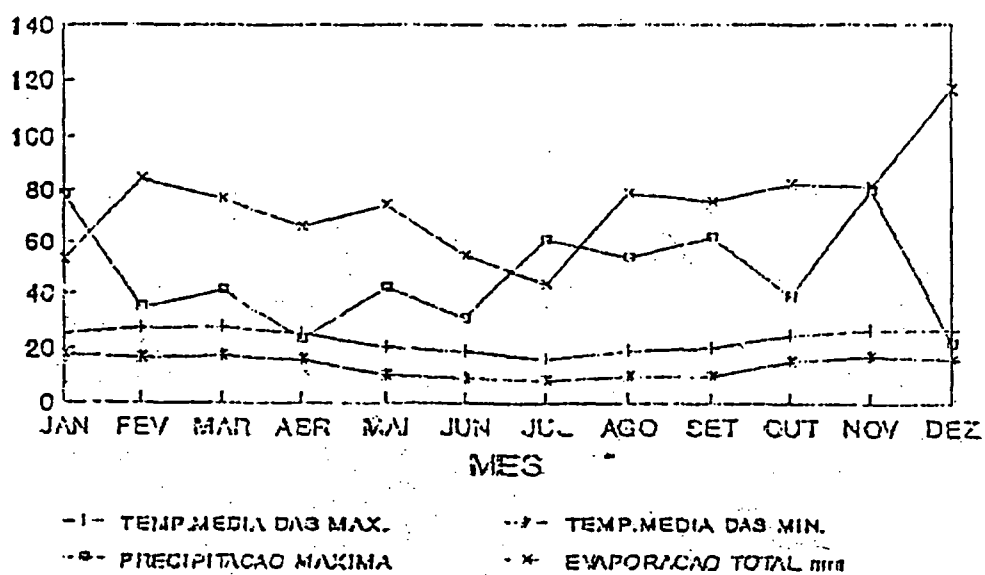
O estabelecimento de padrões quantitativos nos parece ser de fundamental importância, além da verificação em outros tipos de solo e clima das relações aqui observadas.

## **ANEXO I**

## RESUMO METEOROLÓGICO PONTA GROSSA - PR 1954 - 1989



## RESUMO METEOROLÓGICO ANUAL PONTA GROSSA - PR 1990



## **ANEXO II**

TABELAS DOS VALORES NUMÉRICOS DE CADA PARÂMETRO AVALIADO NO EXPERIMENTO POR TRATAMENTO.

Tratamento	Macro-porosidade	Micro-porosidade	Potencial de água no solo	Densidade de massa seca/raiz	Densidade de comp. da raiz	Peso hectolítrico dos grãos	Nº de espigas brancas	Rendimento
TEC	18,6	30,4	-121,6	0,03	392,7	72,6	18,2	1970
CEC	17,6	29,5	-144,0	0,05	383,8	70,3	16,5	2221
SEC	19,3	30,4	-168,6	0,04	390,7	69,0	15,1	2180
TE	17,9	31,1	-170,0	0,02	266,4	74,3	48,3	774
CE	12,0	33,4	-187,0	0,03	375,2	74,3	89,3	510
SE	17,0	32,1	-200,0	0,02	325,7	74,3	72,6	502
TGC	16,9	31,0	-139,6	0,02	273,0	73,0	33,2	1268
CGC	13,9	32,5	-150,0	0,03	175,0	72,0	41,9	915
SGC	17,0	32,2	-175,0	0,04	270,1	71,6	25,5	998
TG	18,7	29,4	-143,6	0,02	252,5	73,3	17,4	1656
CG	18,1	30,2	-165,6	0,05	646,7	71,3	19,9	1793
SG	19,0	30,5	-184,3	0,04	499,3	70,3	21,6	1705

## RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO

Tratamento	Profundidade (cm)										
	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60
TEC	0,568	0,711	0,859	1,072	1,126	0,995	0,877	0,775	0,698	0,628	0,613
CEC	0,567	0,688	1,005	1,185	1,229	1,123	1,028	0,882	0,778	0,710	0,642
SEC	0,467	0,560	0,663	0,981	1,081	0,981	0,853	0,734	0,646	0,619	0,570
TE	0,568	0,711	0,859	1,072	1,126	0,995	0,877	0,775	0,698	0,628	0,613
CE	0,567	0,688	1,005	1,185	1,229	1,123	1,028	0,882	0,778	0,710	0,642
SE	0,467	0,560	0,663	0,981	1,081	0,981	0,853	0,734	0,646	0,619	0,570
TGC	0,962	1,285	1,298	1,323	1,363	1,310	1,128	0,931	0,794	0,746	0,661
CGC	0,716	0,990	1,149	1,165	1,297	1,227	0,944	0,897	0,903	0,706	0,651
SGC	0,529	0,809	1,075	1,268	1,404	1,422	1,210	0,975	0,802	0,650	0,618
TG	0,962	1,285	1,298	1,323	1,363	1,310	1,128	0,931	0,794	0,746	0,661
CG	0,716	0,990	1,149	1,165	1,297	1,227	0,944	0,897	0,903	0,706	0,651
SG	0,529	0,809	1,075	1,268	1,404	1,422	1,210	0,975	0,802	0,650	0,618

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLMARAS, R.R.; KRAFT, J.M.; MILLER, D.E.; BURKE, D.W. Soil compaction and soil water dynamic in relation to root disease. Phytopatology, v.73, p.780, 1983. Ref. 113. Resumo.
- ALLMARAS, R.R.; KRAFT, J.M.; MILLER, D.E. Soil compaction and incorporated crop residue effects on root health. St. Paul: University of Minnesota, 1988. 50p.
- ASHER, M.J.C. Effect of *Ophiobolus graminis* infection on the assimilation and distribution of  $^{14}\text{C}$  in wheat. Annals of Applied Biology, n. 72, p. 161-167, 1972.
- BALL, B.C. Pore characteristics of soil from two cultivation experiments as shown by gas diffusivities and permeabilities and air-filled porosities. Journal of Soil Science, n.32, p.483-498, 1981.
- BLACKWELL, P.S.; WELLS, E.A. Limiting oxygen flux densities for oat root extension. Plant and Soil, v.73, n.1, p.129-139, 1983.
- BLACKWELL, P.S.; WARD, M.A.; LEFEVRE, R.N.; COWAN, D.J. Compaction of a swelling clay soil by agricultural traffic; effects upon conditions for growth of winter cereals and evidence for some recovery of structure. The Journal of Soil Science, v.36, n.4, p.633-650, 1985.
- BOHM, W. Methods of studying root systems. Berlin: Springer Verlag, 1979. 189p.
- BOONE, F.R. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and trafic. Soil e Tillage Research, v.11, p.283-324, 1988.
- BRADFORD, I.M. Penetrability. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis, physical, chemical and mineralogical methods. America Society of Agronomy, 1986.
- BRILL, G.D.; ALDERFER, R.B.; HANNA, W.J. Effects of subsoiling and deep placement of fertilizer on a coastal plan soil and vegetables. Agronomy Journal, v.57, p.201-204, 1965.
- BUERKERT, A.; MARSCHNER, H. Calcium and temperature effects on seedling exudation and root rot infection of common bean on acid sandy soil. Plant and Soil, v.147, n.2, p.253-303, 1992.

- BUGBEE, G.J.; FRINK, C.R. Aeration of potting media and plant growth. Soil Science, v.141, n.6, p.438-441, 1986.
- BUSSCHER, W.J.; SOJKA, R.E.; DOTY, C.W. Residual effects of tillage on coastal plain soil strength. Soil Science, v.141, n.2, p.144-148, 1986.
- CANNEL, Q.R.; JACKSON, M.B. Alleviating aeration stress. In: ARKIN, G.F. e H.M. TAYLOR (ed.), St. Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers, p.21-57, 1981.
- CHAPMAN, S.J.; LYNCH, J.M. The relative role of micro-organisms and their metabolites in the phytotoxicity of decomposing plant residues. Plant and Soil, v.74, n.3, p.457-459, 1983.
- CHAUDHRY, S.M.; SHERIF, S.M.; CHAUDHRY, F.M.; ABED, A.H. Micronutrient availability to cereals from calcareous soils. VII Mechanism of higher wheat production by tillage methods. Plant and Soil, v.52, n.4, p.537-545, 1979.
- CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, n.2, p.197-201, 1983.
- CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J.; SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em latossolo roxo do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, n.3, p.323-327, 1983.
- COLLINS, H.P.; RASMUSSEN, P.E.; DOUGLAS JR., C.L. Crop rotation and residues management effects on soil carbon and microbacial dynamics. Soil Science Society of American Journal, v.56, n.3, p.783-788, 1992.
- COVENTRY, D.R.; KOLLMORGEN, J.F. An Association between lime application and the incidence of Take-All symptoms on wheat on an acid soil in north-eastern Victoria. Australian Journal of Experimental Agriculture, n.27, p.695-699, 1987.
- COTTERILL, P.J.; SIVASITHAMPARAM, K. Intermittent wetting of soils at High Temperature Reduces Survival of the Take-All Fungus. Plant and Soil, v.103, p.289-291, 1987.
- CUNFER, B.M.; ROTHROCK, C.S. Disease management in wheat produced under conservation tillage in the southeastern United States. Griffin: University of Georgia. Department of Plant Pathology, [1991?].
- CUNNINGHAM, P.C.; SPILLANE, P.A.; FOREMAN, B.T. et al. Effects of infection by *Ophiobolus graminis* Sacc. on grain yields, baking characteristics of wheat and quality of malting barley. Irish Journal of Agriculture Research, v.7, n.2, p.183-193, 1968.
- DORAN, J.W. Microbial changes associated with residues management with reduced tillage. Soil Science Society of America Journal, v.44, p.765-771, 1980.

- ECK, F.V.; UNGER, P.W. Soil profile modification for increasing crop production. Advances in Soil Science, v.1, p.65-100, 1985.
- ELLIOTT, L.F.; LYNCH, J.M. Plant growth-inhibitory pseudomonas colonizing winter wheat (*Triticum aestivum* L.) roots. Plant and Soil, v.84, n.1, p.57-65, 1985.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, n.2, p.259-267, 1989.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. 1v.
- ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. In: Predicting tillage effects on soil physics properties and processes. ASA Special Publications, n.44, Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1982, p.91-104. (ASA SPECIAL Publications, 44).
- FARIAS, G.S. de. Manejo de latossolo no Estado do Paraná. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. p.141-143. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 12).
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D.; MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, n.3, p.329-333, 1983.
- FERRAZ, J.F.P. Influence of the soil atmosphere on spread of *Ophiobolus graminis* along wheat roots. Transactions of British Mycological Society, v.63, n.2, p.237-249, 1973.
- FREDRICKSON, J.K.; ELLIOTT, L.F. Effects on winter wheat seedling growth by toxin-producing rhizobacteria. Plant and Soil, v.83, n.3, p.399-409, 1985.
- GANGOPADHYAY, S.; WYLLIE, T.D.; TEAGUE, W.R. Effect of bulk density and moisture content of soil on the survival of *Macrophomina phaseolina*. Plant and Soil, v.68, n.2, p.241-247, 1982.
- GERIK, T.J.; MORRISON JR., J.E.; CHICHESTER, F.W. Effects of controlled-traffic on soil physical properties and crop rooting. Agronomy Journal, v.79, p.434-438, 1987.
- GODOY, H.; CORREA, A.R.; SANTOS, D. dos. Clima do Paraná. Manual Agropecuário para o Paraná. v.1, p.15-37, 1976.



- GOSS, M.J.; EHLERS, W.; BOONE, F.R.; WRITE, I.; HOWSE, K.R. Effects of soil management practice on soil physical conditions affecting root growth. Journal of Agricultural Engineering Research, v.30, p. 131-140, 1984.
- GRAHAM, R.D.; ROVIRA, A.D. A role for manganese in the resistance of wheat plants to take-all. Plant and Soil, v.78, n.3, p.441-444, 1984.
- GREENLAND, D.J. Soil management and soil degradation. The Journal of Soil Science, v.32, n.3, p.301-322, 1981.
- HADAS, A.D.; WOLF, D.; MEIRSON, I. Tillage implements soil structure relationship and their effect on crop stands. Soil Science Society of American Journal, v.42, p.632-637, 1978.
- HILLEL, D. Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980.
- HOWIE, W.J.; COOK, R.J.; WELLER, D.M. Effects of soil matric potential and cell motility on wheat root colonization by fluorescent *Pseudomonads* suppressive to Take-All. Phytopathology, v.77, n.2, p.286-292, 1987.
- JAMES, T.D.W.; SUTTON, J.C. Relationships of tillage practices and microclimate of winter wheat in Ontario. Guelph: University of Guelph. Department of Environmental Biology, 1990, p.23.
- JORGE, J.A.; LIBARDI, P.L.; FOLONI, L.L.; ALMEIDA, J.O.C.; REICHARDT, K.; GAMERO, C.A. Influência da subsolagem e gradagem do solo na sua condutividade hidráulica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 8, n.1, p.1-6, 1984.
- LEWIS, S.J.; DEACON, J.W. Effects of shading and powdery mildew infection on senescence of the root cortex and coleoptile of wheat and barley seedlings, and implications for root - and foot-rot fungi. Plant and Soil, v.69, n.3, p.401-411, 1982.
- LIDDELL, C.M. Experimental approach to measure the compression of soil around emerging wheat coleoptiles. Soil Biology and Biochemistry, v.14, n.5, p.471-477, 1992.
- LINCH, J.M. Interactions between biological processes, cultivation and soil structure. Plant and Soil, v.76, n.1/3, p.307-318, 1984.
- MACHADO, J.A.; BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.2, n.2, p.81-84, 1978.
- MEEK, B.D.; RECHEL, E.R.; CARTER, L.M.; DE TAR, W.R.; URIE, A.L. Infiltration rate of a sandy loam soil: effects of traffic, tillage and plant roots. Soil Science Society American Journal, v.56, n.3, p.908-913, 1992.
- NILSSON, H.E. Varietal differences in resistance to take-all disease of winter wheat swedish. Journal of Agriculture, n.3, p.89-93, 1973.

- NYE, P.H.; TINKER, P.B. Solute movement in the soil-root system. Osney Mead: Black-Well Scientific Publications, 1977. 342p.
- OLIVEIRA, E.B. de. Considerações sobre análise estatística na pesquisa de sistemas agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS (1:1994: Porto Velho). Anais. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. v.1.
- PREW R.D. The effect of minimum cultivation on the incidence of Take-All down the root profile of winter wheat. Annals of Applied Biology, n.98, p.217-226, 1981.
- PREVEDELLO, C.L. Introdução ao estudo da ciência da água no solo para fins agrícolas. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1988. p.161.
- RATTRAY, E.A.S.; FROSSER, J.I.; GLOVER, L.A.; KILLHAM, K. Matric potencial in relation to survival and activity of a genetically modified microbial inoculum in soil. Biology and Biochemistry, v.24, n.5, p.421-425, 1992.
- REEVES, T.G.; HAINES, P.J.; COVENTRY, D.R. Growth of wheat and subterranean clover on soil artificially compacted at various depths. Plant and Soil, v.80, n.1, p.135-138, 1984.
- REIS, E. M., SANTOS, H.P. dos; LHAMBY, J.C.B. Rotação de culturas I - efeito sobre doenças radiculares do trigo nos anos 1981 e 1982. Fitopatologia Brasileira, v.8, p.431-437, 1983.
- REIS, E.M. Rotação de culturas no controle do mal-do-pé. Agrotecnica Ciba-Geigy; Defesa Vegetal e Animal, São Paulo, n.16, p.11-21. 1990.
- ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B. e FREDE, H.G. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltração de água em um latossolo roxo cultivado com cafeeiros. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.10, p.163-166, 1986.
- SCHUURMAN, J.J.; GOEDEWAAGEN, M.A.J. Methods for the examination of root systems and roots. 2.ed. Wageningen: Pudoc, 1971. 86p.
- SHIERLAW, J.; ALSTON, A.M. Effects of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. Plant and Soil, v.77, n.1, p.15-28, 1984.
- SILVA FILHO, G.N.; VICTOR, C. Práticas de manejo de solo na população microbiana. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.8, n.3, p.291-296, 1984.
- SOJKA, R.E. Soil oxygen effects on two determinate soybean isolines. Soil Science, v.140, n.5, p.333-342, 1985.
- STURZ, A.V.; BERNIER, C.C. Influence of crop rotation on winter wheat growth and yield in relation to the dynamics of pathogenic crown and root rot fungal complexes. Canadian Journal of Plant Pathology, n.11, p.114-121, 1989.
- SUMNER, M.E.; BOSWELL, F.C. Alleviating nutrient stress. In: ARKIN, G.F.

- TAYLOR, H.M. Modifying the root environment to reduce crop stress. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1981. p.99-137.
- SUTTON, I.C. Effects of crop sequences and tillage treatments of winter wheat in Ontario. Guelph: University of Guelph, 1990. p.20.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. Journal of Ecology, v.63, p.995-1000, 1975.
- TORRENTÓ, J.R.; SOLÉ-BENET, A. Soil macroporosity evaluated by a fast image-analysis technique in differently managed soils. Soil Science Plant. Anals, v.23, n.11/12, p.1229-1244, 1992.
- VEEN, B.W. The influence of mechanical impedance on the growth of maize roots. Plant and Soil, v.66, n.1, p.101-109, 1982.
- VOORHESS, W.B.; EVANS, D.; WARNES, D.D. Effect of preplant wheel traffic on soil compaction, water use and growth of spring wheat. Soil Science Society of America Journal, n.49, p.215-220, 1985.
- WILKINSON, H.T., COOK, R.J.; ALLDREDGE, J.R. Relations of inoculum size and concentration to infection of wheat roots by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. Phytopathology, v.75, n.1, p.98-103, 1985.